

文章编号: 0253-2239(2006)08-1250-6

# 被光阑衍射部分偏振高斯-谢尔模型光束的远场特性\*

潘留占

(洛阳师范学院物理与电子科学系, 河南洛阳 471022)

**摘要:** 从部分相干光的传输理论出发, 采用光束相干-偏振矩阵方法研究了被光阑衍射部分偏振高斯-谢尔模型光束的远场特性, 对远场偏振和光强特性作了详细的数值计算和物理分析。研究表明, 光阑衍射部分偏振高斯-谢尔模型光束的远场特性与光阑截断参量、光的空间相干性和衍射角有关。并与自由空间的传输特性和以前的工作作了比较分析。

**关键词:** 物理光学; 部分偏振高斯-谢尔模型光束; 光束相干-偏振矩阵; 远场; 光阑衍射

中图分类号: O436 文献标识码: A

## Far-Field Behavior of Partially Polarized Gaussian Schell-Model Beams Diffracted through an Aperture

Pan Liuzhan

(Department of Physics and Electronics Science, Luoyang Normal College, Luoyang 471022)

**Abstract:** Based on the beam coherent-polarization matrix approach and propagation law of partially coherent beams, the propagation properties of partially polarized Gaussian Schell-model beams diffracted through an aperture in the far field are studied. Detailed numerical calculation results and physical analysis are presented and illustrated for the far-field polarization and intensity properties. It is shown that the far-field behavior of diffracted partially polarized Gaussian Schell-model beams depends on the truncation parameter, spatial coherence parameters and diffraction angle. The corresponding results for the unapertured case are given and a comparison with the previous results is also made.

**Key words:** physical optics; partially polarized Gauss-Schell-model beam; beam coherence - polarization matrix; far field; diffraction by aperture

### 1 引 言

在实际工作中, 多数情况下激光器发出的是部分相干的多模光束, 比较合乎实际情况的是采用部分相干光模型描述激光束, 常用高斯-谢尔模型(GSM)光束来描述部分相干激光<sup>[1]</sup>。激光通过放大介质或非线性晶体材料后, 出射光束截面上各点可能会出现不同的偏振状态, 而激光的偏振特性在许多情况下又是必须考虑的, 如激光散斑等。综合考虑光束的相干性和偏振特性成为近年来人们关注的热门课题<sup>[2~14]</sup>。对准单色部分相干和部分偏振光束, Gori 等人提出了一种部分偏振和部分相干光束模型, 称为部分偏振高斯-谢尔模型(PGSM)光

束<sup>[6]</sup>, 部分偏振高斯-谢尔模型光束相对于高斯-谢尔模型光束表现出了更一般的规律。本文从部分相干光束传输理论出发, 采用光束相干-偏振矩阵方法对被光阑衍射部分偏振高斯-谢尔模型光束远场的传输特性包括偏振和光强的变化进行了详细的讨论, 并将所得结果与部分偏振高斯-谢尔模型光束在自由空间的情况进行了比较分析, 所得结果具有实际应用价值。

### 2 理论分析

准单色场在直角坐标系下的光束相干-偏振(BCP)矩阵定义为<sup>[3,4]</sup>

\* 河南省自然科学基金(0611054000)和河南省教育厅自然科学基金(200510482003)资助课题。

作者简介: 潘留占(1964~), 男, 洛阳人, 教授, 博士, 主要从事光束传输与控制的研究。E-mail: panliuzhan@263.net

收稿日期: 2005-08-29; 收到修改稿日期: 2006-01-01

$$\mathbf{J}(x_1, y_1, x_2, y_2, z) = \begin{bmatrix} J_{xx}(x_1, y_1, x_2, y_2, z) & J_{xy}(x_1, y_1, x_2, y_2, z) \\ J_{yx}(x_1, y_1, x_2, y_2, z) & J_{yy}(x_1, y_1, x_2, y_2, z) \end{bmatrix}, \quad (1)$$

其中  $J_{ij}(x_1, y_1, x_2, y_2, z) = \langle E_i^*(x_1, y_1, z; t) E_j(x_2, y_2, z; t) \rangle$ , ( $i, j = x, y$ ) (2)

式中  $E_x$  和  $E_y$  分别是场在  $x$  和  $y$  方向的分量, \* 表示复共轭,  $\langle \rangle$  表示时间平均。对  $xy$  平面上任一点有  $x_1 = x_2 = x, y_1 = y_2 = y$ , 则(1)式变为

$$\mathbf{J}(x, y, x, y, z) = \begin{bmatrix} J_{xx}(x, y, x, y, z) & J_{xy}(x, y, x, y, z) \\ J_{yx}(x, y, x, y, z) & J_{yy}(x, y, x, y, z) \end{bmatrix}, \quad (3)$$

场点偏振度  $P(x, y, z)$  和光强  $I(x, y, z)$  分别为

$$P(x, y, z) = \left\{ 1 - \frac{4 \text{Det} \mathbf{J}(x, y, x, y, z)}{[\text{Tr} \mathbf{J}(x, y, x, y, z)]^2} \right\}^{1/2}, \quad (4)$$

$$I(x, y, z) = \text{Tr}[\mathbf{J}(x, y, x, y, z)] = J_{xx}(x, y, x, y, z) + J_{yy}(x, y, x, y, z), \quad (5)$$

式中 Det 和 Tr 分别是光束相干-偏振矩阵对应的行列式的值和迹。

设部分偏振高斯-谢尔模型光束入射到图 1 所示  $z=0$  处全宽为  $2a$  的方孔光阑上, 其光束相干-偏振矩阵具有形式<sup>[6]</sup>

$$\mathbf{J}(x'_1, y'_1, x'_2, y'_2, 0) = \begin{bmatrix} J_{xx}(x'_1, y'_1, x'_2, y'_2, 0) & J_{xy}(x'_1, y'_1, x'_2, y'_2, 0) \\ J_{yx}(x'_1, y'_1, x'_2, y'_2, 0) & J_{yy}(x'_1, y'_1, x'_2, y'_2, 0) \end{bmatrix}, \quad (6)$$

其中

$$\begin{cases} J_{xx}(x'_1, y'_1, x'_2, y'_2, 0) = I_1 \exp\left[-\left(\frac{x_1'^2 + x_2'^2}{w_0^2} + \frac{y_1'^2 + y_2'^2}{w_0^2}\right)\right] \exp\left\{-\left[\frac{(x'_1 - x'_2)^2}{2\sigma_a^2} + \frac{(y'_1 - y'_2)^2}{2\sigma_a^2}\right]\right\}, \\ J_{yy}(x'_1, y'_1, x'_2, y'_2, 0) = I_2 \exp\left[-\left(\frac{x_1'^2 + x_2'^2}{w_0^2} + \frac{y_1'^2 + y_2'^2}{w_0^2}\right)\right] \exp\left\{-\left[\frac{(x'_1 - x'_2)^2}{2\sigma_a^2} + \frac{(y'_1 - y'_2)^2}{2\sigma_a^2}\right]\right\}, \\ J_{xy}(x'_1, y'_1, x'_2, y'_2, 0) = I_3 \exp\left[-\left(\frac{x_1'^2 + x_2'^2}{w_0^2} + \frac{y_1'^2 + y_2'^2}{w_0^2}\right)\right] \exp\left\{-\left[\frac{(x'_1 - x'_2)^2}{2\sigma_c^2} + \frac{(y'_1 - y'_2)^2}{2\sigma_c^2}\right]\right\}, \\ J_{yx}(x'_1, y'_1, x'_2, y'_2, 0) = J_{xy}^*(x'_2, y'_2, x'_1, y'_1, 0), \end{cases} \quad (7)$$

式中  $I_1, I_2$  和  $I_3$  是光强常数,  $w_0$  是光束束腰宽度,  $\sigma_a$  和  $\sigma_c$  分别是光的空间自相关和互相关长度,  $(x'_1, y'_1)$  和  $(x'_2, y'_2)$  为  $z=0$  平面上两点坐标。  $I_1, I_2, I_3, w_0, \sigma_a$  和  $\sigma_c$  六个参量取值范围满足文献<sup>[6]</sup>要求, 具体情况这儿略去。

令  $x'_1 = x'_2 = x'$  和  $y'_1 = y'_2 = y'$ , 从(6)式和(7)式可以得到部分偏振高斯-谢尔模型光束在源平面  $z=0$  上的偏振度为

$$P(x', y', 0) = \left[ \left(\frac{I_1 - I_2}{I_1 + I_2}\right)^2 + \frac{4I_3^2}{(I_1 + I_2)^2} \right]^{1/2}, \quad (8)$$

在近轴近似下, 根据光束相干-偏振矩阵元满足的传输理论<sup>[2]</sup>, 可以得到部分偏振高斯-谢尔模型光束通过

传输矩阵为  $\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & z \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$  的近轴光学系统后矩阵元  $J_{ij}(x_1, y_1, x_2, y_2, z)$ , 有

$$J_{ij}(x_1, y_1, x_2, y_2, z) = \left(\frac{k}{2\pi B}\right)^2 \int_{-a}^a \int_{-a}^a \int_{-a}^a \int_{-a}^a J_{ij}(x'_1, y'_1, x'_2, y'_2, 0) \times \exp\left\{-\frac{ik}{2B} \{ [Ax_1'^2 + y_1'^2] - 2(x_1x'_1 + y_1y'_1) + D(x_1^2 + y_1^2) \} - [Ax_2'^2 + y_2'^2] - 2(x_2x'_2 + y_2y'_2) + D(x_2^2 + y_2^2) \} \right\} dx'_1 dy'_1 dx'_2 dy'_2, \quad (9)$$

式中  $k = 2\pi/\lambda$  是波数,  $\lambda$  为波长,  $(x, y)$  是出射场  $z$  平面上场点的位置坐标。由(9)式可得通过光阑衍射远场光束相干-偏振矩阵元的表示式为

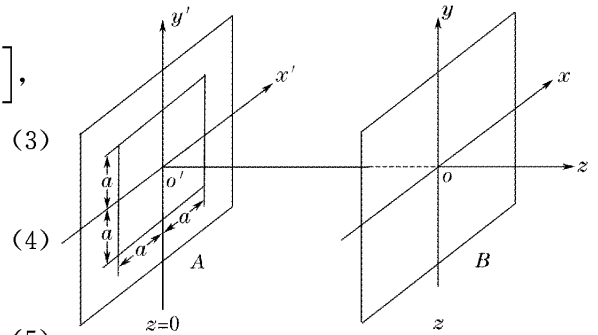


图 1 光阑装置  
Fig. 1 Aperture geometry

$$J_{ij}(x_1, y_1, x_2, y_2, z) = \left(\frac{k}{2\pi z}\right)^2 \int_{-a}^a \int_{-a}^a \int_{-a}^a J_{ij}(x'_1, y'_1, x'_2, y'_2, 0) \exp\left[-\frac{ik}{z}(x_2 x'_2 - x_1 x'_1)\right] \times \\ \exp\left[-\frac{ik}{z}(y_2 y'_2 - y_1 y'_1)\right] dx'_1 dy'_1 dx'_2 dy'_2, \quad (10)$$

令  $x_1 = x_2 = x$  和  $y_1 = y_2 = y$ , 对远场任意一点有

$$J_{ij}(x, y, x, y, z) = \left(\frac{k}{2\pi z}\right)^2 \int_{-a}^a \int_{-a}^a \int_{-a}^a J_{ij}(x'_1, y'_1, x'_2, y'_2, 0) \exp\left[-\frac{ik}{z}x(x'_2 - x'_1)\right] \times \\ \exp\left[-\frac{ik}{z}y(y'_2 - y'_1)\right] dx'_1 dy'_1 dx'_2 dy'_2, \quad (11)$$

把(7)式代入(11)式并经过复杂运算, 得到

$$\begin{cases} J_{xx}(\alpha, \beta, \alpha, \beta, z) = I_1 \left(\frac{z_0}{z}\right)^2 M_a(\alpha) M_a(\beta), & J_{yy}(\alpha, \beta, \alpha, \beta, z) = I_2 \left(\frac{z_0}{z}\right)^2 M_a(\alpha) M_a(\beta), \\ J_{xy}(\alpha, \beta, \alpha, \beta, z) = I_3 \left(\frac{z_0}{z}\right)^2 M_c(\alpha) M_c(\beta), & J_{yx}(\alpha, \beta, \alpha, \beta, z) = J_{xy}^*(\alpha, \beta, \alpha, \beta, z), \end{cases} \quad (12)$$

其中

$$z_0 = \frac{\pi w_0^2}{\lambda}, \quad (\text{瑞利长度}) \quad (13)$$

$$\alpha = \frac{x/w_0}{z/z_0}, \quad (x \text{ 方向归一化的衍射角}) \quad (14)$$

$$\beta = \frac{y/w_0}{z/z_0}, \quad (y \text{ 方向归一化的衍射角}) \quad (15)$$

$$M_\kappa(\alpha) = \frac{1}{2\sqrt{Q_\kappa}} \int_{-\delta}^{\delta} \left\{ \operatorname{erf}\left[\frac{2\delta Q_\kappa + 2i\alpha - u/(\sigma_\kappa/w_0)^2}{2\sqrt{Q_\kappa}}\right] - \operatorname{erf}\left[\frac{-2\delta Q_\kappa + 2i\alpha - u/(\sigma_\kappa/w_0)^2}{2\sqrt{Q_\kappa}}\right] \right\} \times \\ \exp\left\{-\frac{1}{Q_\kappa}\left[\alpha + i\frac{u}{2(\sigma_\kappa/w_0)^2}\right]^2 + 2i\alpha u - Q_\kappa u^2\right\} du, \quad (\kappa = a, c) \quad (16)$$

$$M_\kappa(\beta) = \frac{1}{2\sqrt{Q_\kappa}} \int_{-\delta}^{\delta} \left\{ \operatorname{erf}\left[\frac{2\delta Q_\kappa + 2i\beta - v/(\sigma_\kappa/w_0)^2}{2\sqrt{Q_\kappa}}\right] - \operatorname{erf}\left[\frac{-2\delta Q_\kappa + 2i\beta - v/(\sigma_\kappa/w_0)^2}{2\sqrt{Q_\kappa}}\right] \right\} \times \\ \exp\left\{-\frac{1}{Q_\kappa}\left[\beta + i\frac{v}{2(\sigma_\kappa/w_0)^2}\right]^2 + 2i\beta v - Q_\kappa v^2\right\} dv, \quad (\kappa = a, c) \quad (17)$$

$$Q_\kappa = 1 + \frac{1}{2(\sigma_\kappa/w_0)^2}, \quad (\kappa = a, c) \quad (18)$$

$$\delta = a/w_0, \quad (\text{截断参量}) \quad (19)$$

$$u = x'/w_0, \quad (z = 0 \text{ 平面相对位置坐标}) \quad (20)$$

$$v = y'/w_0, \quad (z = 0 \text{ 平面相对位置坐标}) \quad (21)$$

从(4)式、(5)式和(12)式, 可以得到被光阑衍射部分偏振高斯-谢尔模型光束远场场点的偏振度  $P(x, y, z)$  和光强  $I(x, y, z)$ , 分别为

$$P(\alpha, \beta, z) = \left\{ \left(\frac{I_1 - I_2}{I_1 + I_2}\right)^2 + \frac{4I_3^2}{(I_1 + I_2)^2} \left[\frac{M_c(\alpha)M_c(\beta)}{M_a(\alpha)M_a(\beta)}\right]^2 \right\}^{1/2}, \quad (22)$$

$$I(\alpha, \beta, z) = \operatorname{Tr}[\mathbf{J}(\alpha, \beta, \alpha, \beta, z)] = J_{xx}(\alpha, \beta, \alpha, \beta, z) + J_{yy}(\alpha, \beta, \alpha, \beta, z) = \\ (I_1 + I_2)(z_0/z)^2 M_a(\alpha) M_a(\beta), \quad (23)$$

从(22)式和(23)式可以看出, 衍射部分偏振高斯-谢尔模型光束远场特性与光强常数因子  $I_1, I_2, I_3$ , 与光的相对空间相关长度  $\sigma_a/w_0, \sigma_c/w_0$  有关的函数  $M_\kappa(\alpha), M_\kappa(\beta)$  ( $\kappa = a, c$ ), 衍射角  $\alpha, \beta$  和截断参量  $\delta$  有关。利用(22)式和(23)式, 可以对被光阑衍射部分偏振高斯-谢尔模型光束远场特性作详细的研究。

令  $\delta \rightarrow \infty$ , 由(11)式可以得到部分偏振高斯-谢尔模型光束通过自由空间传输远场的光束相干-偏振矩阵元

$$\begin{cases} J_{xx}(\alpha, \beta, \alpha, \beta, z) = I_1 \left(\frac{z_0}{z}\right)^2 \frac{1}{1 + 1/(\sigma_a/w_0)^2} \exp\left[-\frac{2(\alpha^2 + \beta^2)}{1 + 1/(\sigma_a/w_0)^2}\right], \\ J_{yy}(\alpha, \beta, \alpha, \beta, z) = I_2 \left(\frac{z_0}{z}\right)^2 \frac{1}{1 + 1/(\sigma_a/w_0)^2} \exp\left[-\frac{2(\alpha^2 + \beta^2)}{1 + 1/(\sigma_a/w_0)^2}\right], \\ J_{xy}(\alpha, \beta, \alpha, \beta, z) = I_3 \left(\frac{z_0}{z}\right)^2 \frac{1}{1 + 1/(\sigma_c/w_0)^2} \exp\left[-\frac{2(\alpha^2 + \beta^2)}{1 + 1/(\sigma_c/w_0)^2}\right], \\ J_{yx}(\alpha, \beta, \alpha, \beta, z) = J_{xy}^*(\alpha, \beta, \alpha, \beta, z), \end{cases} \quad (24)$$

从(4)式、(5)式和(24)式可以得到部分偏振高斯-谢尔模型光束在自由空间传输远场场点的偏振度  $P(\alpha, \beta, z)$  和光强  $I(\alpha, \beta, z)$ , 分别为

$$P(\alpha, \beta, z) = \left\{ \left(\frac{I_1 - I_2}{I_1 + I_2}\right)^2 + \frac{4I_3^2}{(I_1 + I_2)^2} \left[\frac{1 + 1/(\sigma_a/w_0)^2}{1 + 1/(\sigma_c/w_0)^2}\right]^2 \exp\left\{-\left[\frac{4(\alpha^2 + \beta^2)}{1 + 1/(\sigma_c/w_0)^2} - \frac{4(\alpha^2 + \beta^2)}{1 + 1/(\sigma_a/w_0)^2}\right]\right\} \right\}^{1/2}, \quad (25)$$

$$I(\alpha, \beta, z) = \text{Tr}[\mathbf{J}(\alpha, \beta, \alpha, \beta, z)] = J_{xx}(\alpha, \beta, \alpha, \beta, z) + J_{yy}(\alpha, \beta, \alpha, \beta, z) = (I_1 + I_2) \left(\frac{z_0}{z}\right)^2 \frac{1}{1 + 1/(\sigma_a/w_0)^2} \exp\left[-\frac{2(\alpha^2 + \beta^2)}{1 + 1/(\sigma_a/w_0)^2}\right]. \quad (26)$$

### 3 数值计算及分析

利用(16)式、(17)式和(22)式,对被光阑衍射部分偏振高斯-谢尔模型光束的远场偏振特性进行了数值计算。在下面的计算中,取参量  $w_0 = 1 \text{ mm}$ ,  $\sigma_a/\sigma_c = 0.5$ ,  $I_1 = I_2 = 0.5$ ,  $I_3 = 0.1$ ,  $\lambda = 632.8 \text{ nm}$ , 参量  $\sigma_a$ 、 $\sigma_c$ 、 $I_1$ 、 $I_2$  和  $I_3$  的取值满足文献[6]的要求。图2给出了相对相关长度  $\sigma_a/w_0 = 0.2$  下远场横截面上  $x(y=0)$  方向偏振度的规律,图中三条线分别对应截断参量  $\delta = 0.3$ 、 $0.6$  和  $1$ 。从(8)式和图2可以看出,在源处均匀偏振( $P = 0.2$ )的部分偏振高斯-谢尔模型光束变为不均匀偏振,偏振度分布变为高斯形状,最大值位于轴上。对应截断参量  $\delta = 0.3$ 、 $0.6$  和  $1$  的情况,轴上点偏振度  $P$  分别为  $0.38$ 、

$0.57$  和  $0.67$ , 并且随着截断参量增加即衍射效应减弱,轴上点偏振度  $P$  随之增加,当  $\delta \geq 2.5$  时,偏振度  $P = 0.72$ 。为了比较光束不同相干性下远场偏振情况,图3给出了不同相对空间相关长度  $\sigma_a/w_0 = 0.1$ 、 $0.2$ 、 $0.5$  和  $1$  下偏振度沿  $x(y=0)$  方向的变化规律,其中截断参量取为  $\delta = 0.6$ , 其它计算参量与图2相同。图3表明,偏振度与  $\sigma_a/w_0$  有关系,在  $\sigma_a/w_0 = 0.1$  和  $0.2$  时,偏振度分布为高斯形状,当  $\sigma_a/w_0 = 0.5$  和  $1$  时,在衍射角  $-5 \leq \alpha \leq 5$  范围内,偏振度分布变为多峰,轴上点偏振度  $P$  为一极大值,并且随着  $\sigma_a/w_0$  增加而减小。

利用(25)式,对部分偏振高斯-谢尔模型光束在自由空间传输远场的偏振特性进行了数值计算。图

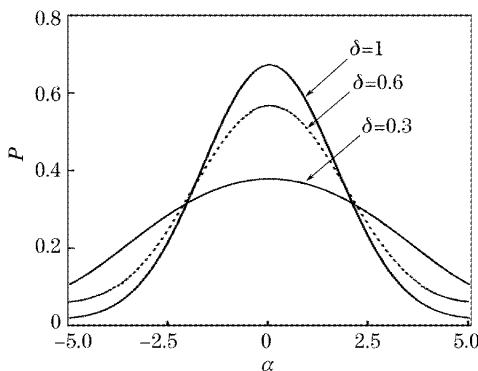


图2 不同截断参量  $\delta = 0.3$ 、 $0.6$ 、 $1$  和  $\sigma_a/w_0 = 0.2$  下衍射部分偏振高斯-谢尔模型光束远场偏振度随衍射角的变化  
Fig. 2. Degree of polarization distribution of diffracted partially polarized Gaussian Schell-mode beams in the far field versus diffraction angle  $\alpha$  for different values  $\delta = 0.3, 0.6, 1$  and  $\sigma_a/w_0 = 0.2$

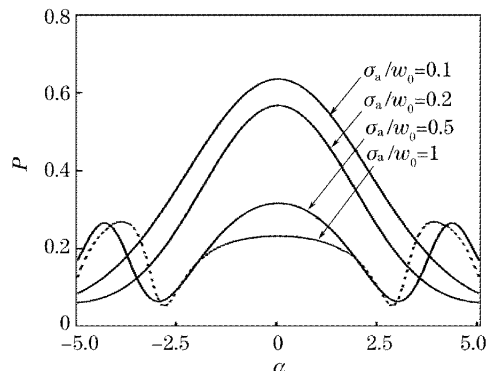


图3 不同相对相关长度  $\sigma_a/w_0 = 0.1$ 、 $0.2$ 、 $0.5$ 、 $1$  和  $\delta = 0.6$  下衍射部分偏振高斯-谢尔模型光束远场偏振度随衍射角的变化  
Fig. 3 Degree of polarization distribution of diffracted partially polarized Gaussian Schell-mode beams in the far field versus diffraction angle  $\alpha$  for different values  $\sigma_a/w_0 = 0.1, 0.2, 0.5, 1$  and  $\delta = 0.6$

4 为不同空间相关长度下远场横截面上沿  $x(y=0)$  方向的偏振度分布, 计算参量与图 2 相同。由图 4 和(25)式可以看出, 不同相对空间长度  $\sigma_a/w_0$  下偏振度分布均为高斯形状, 轴上点偏振度最大, 和被光阑衍射部分偏振高斯-谢尔模型光束不同, 随着空间相干性增加, 没有出现多峰现象。

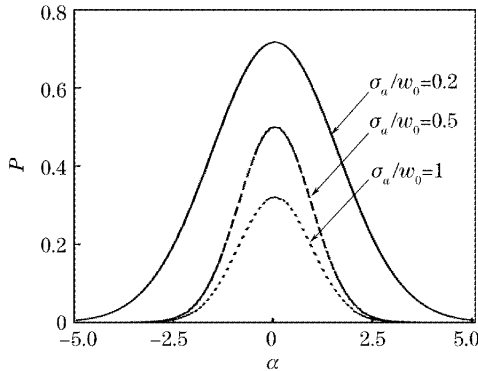


图 4 不同相对相关长度  $\sigma_a/w_0=0.2, 0.5$  和 1 下部分偏振高斯-谢尔模型光束在自由空间传输远场偏振度随衍射角的变化

Fig. 4 Degree of polarization distribution upon the free space in the far field versus diffraction angle  $\alpha$  for different values of  $\sigma_a/w_0=0.2, 0.5$  and 1

被光阑衍射部分偏振高斯-谢尔模型光束远场的光强分布像文献[6]中研究的在自由空间传输的

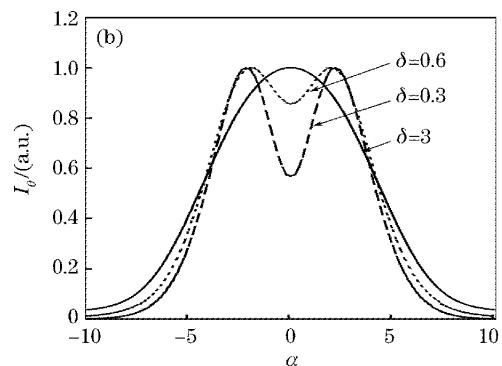
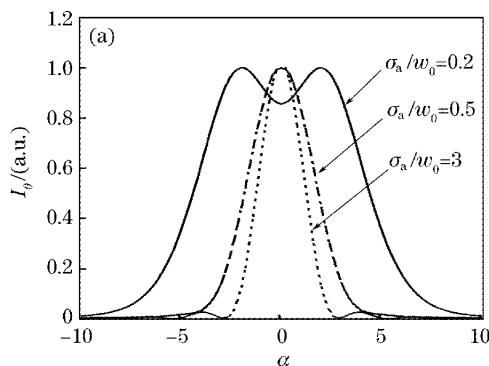


图 5 部分偏振高斯-谢尔模型光束通过光阑和线偏振片 ( $\theta=-\pi/4$ ) 远场光强分布。(a)  $\delta=0.6$ , (b)  $\sigma_a/w_0=0.2$

Fig. 5 Intensity distributions of a partially polarized Gaussian Schell-mode beam passing through an aperture and a polarizer in the far field for  $\theta=-\pi/4$ . (a)  $\delta=0.6$ ; (b)  $\sigma_a/w_0=0.2$

图 6(a)为利用(26)式作数值计算得到的部分偏振高斯-谢尔模型光束在自由空间传输远场的光强分布图, 计算参量与图 5 相同。从(26)式和图 6(a)可以看出, 部分偏振高斯-谢尔模型光束在自由空间传输光强的高斯形状保持不变。把(24)式代入(28)式在作数值计算可以得到部分偏振高斯-谢尔模型光束通过线偏振片在自由空间中传输远场的光强分布, 见图

情况一样, 仅靠光强测量是不能区分部分偏振高斯-谢尔模型光束和高斯-谢尔模型光束, 需要引入一个线偏振片。假设我们在源平面上放一个线偏振片, 其琼斯矩阵为

$$\mathbf{T}(\mathbf{r}) = \begin{bmatrix} c^2 & cs \\ cs & s^2 \end{bmatrix}, \quad (27)$$

其中  $c=\cos \theta, s=\sin \theta, \theta$  是偏振方向与  $x$  轴的夹角。考虑线偏振片, 通过上述类似的推导过程, 我们可以得到部分偏振高斯-谢尔模型光束通过光阑和线偏振片后远场的光强分布:

$$I_{\theta}(\alpha, \beta, z) = c^2 J_{xx}(\alpha, \beta, \alpha, \beta, z) + s^2 J_{yy}(\alpha, \beta, \alpha, \beta, z) + 2cs J_{xy}(\alpha, \beta, \alpha, \beta, z), \quad (28)$$

式中  $J_{ij}(\alpha, \beta, \alpha, \beta, z)$  满足(12)式。应用(28)式, 对部分偏振高斯-谢尔模型光束通过光阑和线偏振片后远场的光强进行了数值计算, 结果如图 5 所示。计算参量取为  $w_0=1\text{mm}, \alpha_a/\sigma_c=0.5, I_1=I_2=0.5, I_3=0.1, \lambda=632.8\text{nm}$  和  $\theta=-\pi/4$ 。图 5(a) ( $\delta=0.6$ ) 和图 5(b) ( $\sigma_a/w_0=0.2$ ) 分别给出了不同相对空间相关长度  $\sigma_a/w_0$  和截断参量  $\delta$  下归一化的光强分布  $I_{\theta}=I_{\theta}(\alpha, \beta, z)/I_{\theta\max}(\alpha, \beta, z)$ 。结果表明, 与高斯-谢尔模型的光强分布为高斯形状不同(这儿略去), 部分偏振高斯-谢尔模型光束分别在  $\sigma_a/w_0=0.2$  [见图 5(a)] 和  $\delta=0.3, 0.6$  [见图 5(b)] 下, 光强分布在中心出现了凹陷。

6(b), 计算参量与图 5 相同。从图 6(b)可以看出, 在相对空间相关长度  $\sigma_a/w_0=0.2$  和 0.5 下, 与部分偏振高斯-谢尔模型光束在自由空间中传输远场的光强分布为高斯形状不同, 部分偏振高斯-谢尔模型光束通过线偏振片在自由空间中传输远场的光强分布在中心出现了凹陷。比较图 5 和图 6(b), 部分偏振高斯-谢尔模型光束通过线偏振片不管是通过光阑还是

在自由空间传输,远场光强分布都出现了中心凹陷现象,并且随着空间相关长度的增加,被光阑衍射部分

偏振高斯-谢尔模型光束远场光强分布还会出现旁瓣[见 5(a)中  $\sigma_a/w_0=3$  的情况]。

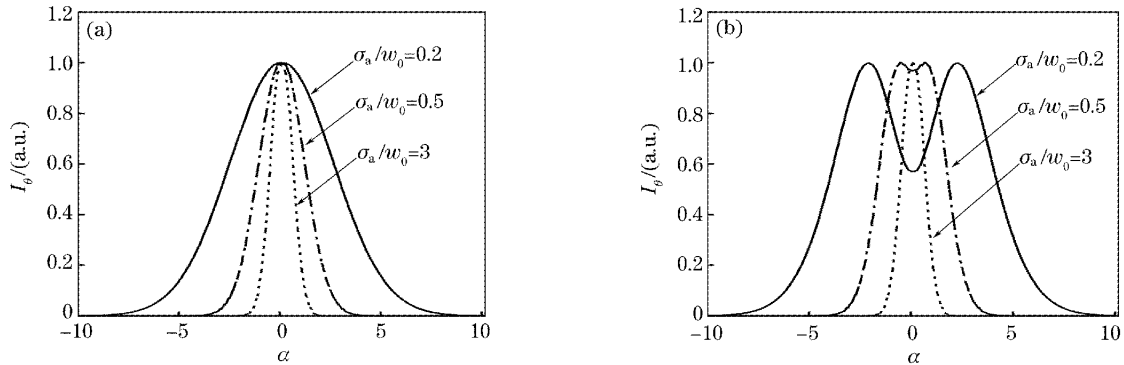


图 6 不同相对相关长度  $\sigma_a/w_0=0.2, 0.5$  和 3 下部分偏振高斯-谢尔模型光束在(a)自由空间和(b)自由空间及线偏振片( $\theta=-\pi/4$ )远场光强分布

Fig. 6 Intensity distributions of a partially polarized Gaussian Schell-mode beam passing through (a) free space (b) free space and a polarizer ( $\theta=-\pi/4$ ) in the far field for different values of  $\sigma_a/w_0=0.2, 0.5$  and 3

## 4 结 论

本文用部分偏振高斯-谢尔模型光束描述部分偏振部分相干的激光束,从光束相干-偏振矩阵方法和部分相干光传输理论出发,对被光阑衍射部分偏振高斯-谢尔模型光束远场特性进行了研究。数值计算结果表明,被光阑衍射部分偏振高斯-谢尔模型光束远场的偏振和光强特性与光阑截断参量、光的空间相关参量和描述场点位置的衍射角有关。被光阑衍射部分偏振高斯-谢尔模型光束远场横向偏振变为非均匀,随着空间相关性增强,偏振度分布形状会从高斯形状变为多峰;随着截断参量增大即光阑衍射效应的减弱,轴上点偏振度随之增加。当在源处插入一个线偏振片时,不管是被光阑衍射部分偏振高斯-谢尔模型光束还是自由空间传输的部分偏振高斯-谢尔模型光束,远场光强分布会出现中心凹陷现象。与文献[6]相比较,本文得到了被光阑衍射部分偏振高斯-谢尔模型光束的远场特性,同时也给出了其特殊情况即自由空间传输的远场特性。本文研究结果对激光应用有一定参考价值。

## 参 考 文 献

- 1 Friberg A T, Turunen J. Imaging of Gaussian Schell-model sources [J]. *J. Opt. Soc. Am. A*, 1988, **5**(2): 713~719
- 2 Mandel L, Wolf E. *Optical Coherence and Quantum Optics* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1995
- 3 Gori F. Matrix treatment for partially polarized, partially coherent

- beams[J]. *Opt. Lett.*, 1998, **23**(4): 241~243
- 4 Gori F, Santarsiero M, Vicalvi S *et al.*. Beam coherence-polarization matrix[J]. *Pure Appl. Opt.*, 1998, **7**(5): 941~951
- 5 Agrawal G P, Wolf E. Propagation-induced polarization changes in partially coherent optical beams[J]. *J. Opt. Soc. Am. A*, 2000, **17**(11): 2019~2023
- 6 Gori F, Santarsiero M, Piquero G *et al.*. Partially polarized Gaussian Schell-model beams[J]. *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.*, 2001, **3**(1): 1~9
- 7 Piquero G, Gori F, Romanini P *et al.*. Synthesis of partially polarized Gaussian Schell-model sources[J]. *Opt. Commun.*, 2002, **208**(1~3): 9~16
- 8 Wolf E. Unified theory of coherence and polarization of random electromagnetic beams[J]. *Phys. Lett. A*, 2003, **312**(4): 263~267
- 9 Roychowdhury H, Wolf E. Determination of the electric cross-spectral density matrix of a random electromagnetic beam[J]. *Opt. Commun.*, 2003, **226**(1~6): 57~60
- 10 Pu Jixiong, Cai Chao, Shojiro Nemoto. The spectral changes of partially coherent light focused by an apertured lens with chromatic aberration[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2004, **2**(4): 239~242
- 11 Ji Xiaoling, Lü Baida. Effect of turbulence on the spectral shift of partially coherent light[J]. *Chin. J. Lasers*, 2005, **32**(4): 506~510 (in Chinese)
- 季小玲,吕百达. 湍流对部分相干光光谱移动的影响[J]. *中国激光*, 2005, **32**(4): 506~510
- 12 Shiral T, Korotkova O, Wolf E. A method of generating electromagnetic Gaussian Schell-model beams[J]. *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.*, 2005, **7**(5): 232~237
- 13 Korotkova O, Salem M, Wolf E. Changes in the state of polarization of a random electromagnetic beam on propagation [J]. *Opt. Commun.*, 2005, **246**(1~3): 35~43
- 14 Xiao Xi, Lü Baida. Spectral changes in polychromatic Gauss-Schell-Model beams passing through a spherically aberrated lens[J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, **25**(4): 542~546 (in Chinese)
- 肖 希,吕百达. 多色高斯-谢尔模型光束通过球差透镜的光谱变化[J]. *光学学报*, 2005, **25**(4): 542~546