

扭曲高斯-谢尔模型光束通过有限尺寸透镜的聚焦特性*

张 彬 吕百达

(四川大学激光物理与化学研究所, 成都, 610064)

摘要: 用广义惠更斯-菲涅耳衍射积分对扭曲高斯-谢尔模型光束通过有限尺寸透镜的聚焦特性作了详细研究。数值计算结果表明, 扭曲高斯-谢尔模型光束的聚焦特性与系统菲涅耳数、光束截断参数、光束相干参数以及扭曲参数等有关。

关键词: 扭曲高斯-谢尔模型光束 有限尺寸透镜 聚焦特性

Focusing properties of twisted Gaussian Schell-model beams through an aperture lens

Zhang Bin, L Baida

(Institute of Laser Physics & Chemistry, Sichuan University, Chengdu, 610064)

Abstract In this paper, using the generalized Huygens-Fresnel diffraction integral, the focusing properties of twisted Gaussian-Schell model beams through an aperture lens have been studied in detail. Numerical calculation results demonstrate that the focusing properties of twisted Gaussian Schell-model beams are dependent on Fresnel number of optical systems, truncation parameter, coherent parameter and twisted parameter.

Key words: twisted Gaussian Schell-model beams aperture lens focusing properties

引 言

高斯-谢尔模型(GSM)是近年来提出的描述部分相干光的一种模型,该模型假设在空间频率域中描述部分相干光的交叉谱密度函数的光强和复相干度为高斯分布,且复相干度只与空间两点的相对位置有关。由于高斯-谢尔模型光束具有较好的方向性但却是部分相干的,因而受到广泛的研究兴趣^[1-3]。1993年,Simon等人将扭曲位相项加入描述高斯-谢尔模型光束的交叉谱密度函数表达式中,称为扭曲高斯-谢尔模型光束^[4]。扭曲高斯-谢尔模型光束是实际存在的一类光束,在实验室中可用声光相干控制等方法产生^[5]。对于常规的二维高斯-谢尔模型光束,其交叉谱密度函数可表示成两个一维光束的乘积,而扭曲高斯-谢尔模型光束因存在变量不可分离的扭曲位相项,其交叉谱密度函数不能简单地分解成两个一维光束的乘积,因此使计算分析都变得复杂。迄今,已对扭曲高斯-谢尔模型光束在无光阑限制的光学系统的传输变换特性作了研究^[5-7]。然而,在实际工作中,光学系统通常存在光阑限制,是必须考虑的。我们用广义惠更斯-菲涅耳衍射积分对扭曲高斯-谢尔模型光束通过有限尺寸透镜的聚焦特性作了数值计算和分析讨论,所得结果对部分相干光的变换特性和有关应用有参考价值。

* 国家高技术青年基金资助。

一、聚焦场光强分布

假定扭曲高斯-谢尔模型光束的束腰位于 $z = 0$ 处, 于是, 在 $z = 0$ 处描述扭曲高斯-谢尔模型光束的交叉谱密度函数可表示成^[4]

$$W_1(x'_1, y'_1, x'_2, y'_2, z = 0) = I_0 \exp\{- [(x'_1{}^2 + y'_1{}^2) + (x'_2{}^2 + y'_2{}^2)]/w_0^2\} \exp\{- [(x'_2 - x'_1)^2 + (y'_2 - y'_1)^2]/(2\sigma_0^2)\} \exp\{- ik(x'_1 y'_2 - x'_2 y'_1)u_0\} \quad (1)$$

式中, I_0 为归一化常数, $(x'_1, y'_1), (x'_2, y'_2)$ 分别为 $x'y'$ 平面上二点的直角坐标, w_0, σ_0, u_0 分别为光束的束腰半径、相干长度和扭曲位相强度, $k = 2\pi/\lambda$ 为波数, λ 为波长。

交叉谱密度函数通过 $ABCD$ 光学系统的传输由广义惠更斯-菲涅耳衍射积分公式描述^[8]

$$W_2(x_1, y_1, x_2, y_2, z) = [k^2/(4\pi^2 B_1 B_2)] \iiint W_1(x'_1, y'_1, x'_2, y'_2, z = 0) \exp\{- ik/(2B_1)[A_1(x_1'^2 - x_2'^2) - 2(x_1 x_1' - x_2 x_2') + D_1(x_1'^2 - x_2'^2)]\} \exp\{- ik/(2B_2)[A_2(y_1'^2 - y_2'^2) - 2(y_1 y_1' - y_2 y_2') + D_2(y_1'^2 - y_2'^2)]\} dx'_1 dx'_2 dy'_1 dy'_2 \quad (2)$$

式中, $A_i, B_i, C_i, D_i (i = 1, 2)$ 分别为 x, y 方向的 $ABCD$ 光学矩阵元。

假设半径为 a , 焦距为 f 的透镜置于 $z = 0$ 处, 于是, 传输矩阵可写为

$$\begin{pmatrix} A_i & B_i \\ C_i & D_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\Delta z & f(1 + \Delta z) \\ -1/f & \Delta z \end{pmatrix} \quad (3)$$

式中, $\Delta z = (z - f)/f$ 。

将(1)式和(3)式代入(2)式, 并令 $x_1 = x_2 = x, y_1 = y_2 = y$, 可得扭曲高斯-谢尔模型光束通过透镜聚焦后聚焦场光强分布为

$$I_2(x, y, \Delta z) = [N/(1 + \Delta z)]^2 I_0 \int_{-a/w_0}^{a/w_0} \int_{-a/w_0}^{a/w_0} \int_{-a/w_0}^{a/w_0} \int_{-a/w_0}^{a/w_0} \exp\{- [(x''_1{}^2 + y''_1{}^2) + (x''_2{}^2 + y''_2{}^2)]\} \exp\{- (1/\beta^2 - 1)[(x''_2 - x''_1)^2 + (y''_2 - y''_1)^2]/2\} \exp\{- i\eta(1/\beta^2 - 1)(x''_1 y''_2 - x''_2 y''_1)\} \exp\{- i\pi N/(1 + \Delta z)[- \Delta z(x''_1{}^2 - x''_2{}^2) - 2(x/w_0)(x''_1 - x''_2)]\} \exp\{- i\pi N/(1 + \Delta z)[- \Delta z(y''_1{}^2 - y''_2{}^2) - 2(y/w_0)(y''_1 - y''_2)]\} dx''_1 dx''_2 dy''_1 dy''_2 \quad (4)$$

式中, $x''_i = x'_i/w_0, y''_i = y'_i/w_0 (i = 1, 2)$, a/w_0 为截断参数,

$$N = w_0^2 / (\mathcal{Y}) \quad (5)$$

为与光束有关的菲涅耳数,

$$\beta = [1 + (w_0/\sigma_0)^2]^{-1/2} \quad (6)$$

为光束相干参数, 通常, $0 \leq \beta \leq 1$, $\beta = 1$ 时, 光束完全相干, $\beta = 0$ 时, 光束完全非相干。

$$\eta = k\sigma_0^2 u_0 \quad (7)$$

为光束扭曲参数, 通常, $|\eta| \leq 1$, $\eta = 0$ 时, 光束为常规的高斯-谢尔模型光束, $\eta = \pm 1$ 表示光束在沿 z 轴传输过程中绕 z 轴旋转得最厉害的情况, 且 $\eta = -1$ 时光束沿逆时针方向旋转, $\eta = +1$ 时光束沿正时针方向旋转。

二、数值计算结果

对扭曲高斯-谢尔模型光束的聚焦场分布(4)式用高斯-勒让德积分法作了数值计算, 典型例示于图 1~ 3。图 1 给出扭曲高斯-谢尔模型光束通过透镜聚焦的聚焦场焦面 $y = 0$ 处的横向光强分布 $I_2(x/w_0, 0)$ (a. u.), $N = 5$, (a) $a/w_0 = 0.5$; (b) $a/w_0 = 2, +\infty$ 。图 2 给出扭曲高

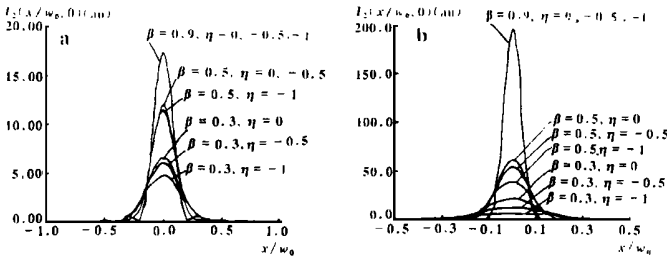


Fig. 1 The transverse intensity distribution $I_2(x/w_0, 0)$ (arbitrary units) at the geometrical focal plane of focused twisted Gaussian Schell-model beams, $N = 5$, (a) $a/w_0 = 0.5$; (b) $a/w_0 = 2, + \infty$

a/w_0 的增加, 由透镜的有限尺寸所引起的衍射效应将减小。数值计算表明, 在弱截断时 ($a/w_0 \geq 2$) 的光强分布与无光阑时 ($a/w_0 = + \infty$) 的光强分布完全相同, 因此, 在弱截断情况下 ($a/w_0 \geq 2$), 扭曲高斯-谢尔模型光束通过有限尺寸透镜聚焦时因透镜的有限尺寸所引起的衍射效应可忽略。同时由图 1~3 可以看出, 随着光束相干参数 β 的减小以及扭曲参数 $|\eta|$ 的增大, 焦面的横向光强分

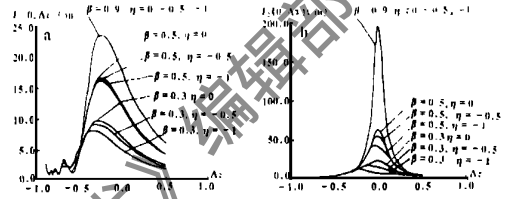


Fig. 2 The axial intensity distribution $I_2(0, \Delta z)$ (a. u.) of focused twisted Gaussian Schell-model beams, $N = 5$, (a) $a/w_0 = 0.5$; (b) $a/w_0 = 2, + \infty$

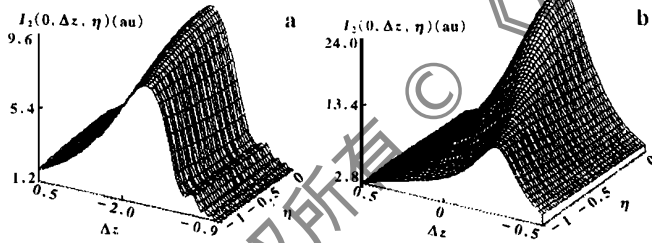


Fig. 3 The axial intensity $I_2(0, \Delta z, \eta)$ (a. u.) of focused twisted Gaussian Schell-model beams as a function of Δz and η . $N = 5, \beta = 0.3$, (a) $a/w_0 = 0.5$; (b) $a/w_0 = 2, + \infty$

布变平滑, 焦斑尺寸变大, 且轴上光强最大值变小, 这是由于随着 β 的减小以及 $|\eta|$ 的增大, 光束的空间相干性变差的缘故。光强极大值位置与透镜焦面并不重合, 而是更靠近透镜出射面, 文献中称“焦移”。焦移量 $|\Delta z_f| = |(z_{max} - f)/f|$ 随着截断参数 a/w_0 和相干参数 β 的增加以及扭曲参数 $|\eta|$ 的减小而减小。同时可以看出, 无论在强截断 ($a/w_0 = 0.5$) 还是在弱截断 ($a/w_0 = 2$) 情况, 当光束相干参数越大, 光束的相干性越好 (如 $\beta = 0.9$), 扭曲参数 η 对聚焦场光强分布以及焦移量的影响越小, 此时, 在相同的相干参数情况下, 不同的扭曲参数的聚焦场光强分布曲线几乎完全重合, 而当光束的相干性越差 (如 $\beta = 0.3$), 聚焦场光强分布以及焦移量随扭曲参数的变化越大, 且弱截断时光束的相干参数和扭曲参数对聚焦场光强分布以及焦移量的影响比强截断时更大。

三、结 束 语

我们用广义惠更斯-菲涅耳衍射积分对扭曲高斯-谢尔模型光束的聚焦特性作了详细研究。研究表明, 扭曲高斯-谢尔模型光束的聚焦特性与系统菲涅耳数、光束截断参数、光束相干参数以及扭曲参数等有关, 本文中所用方法可推广用于研究扭曲高斯-谢尔模型光束通过更为

富勒烯光限幅技术研究新进展

杨学栋 宋瑛林 李 峰

(哈尔滨工业大学应用物理系, 哈尔滨, 150001)

摘要: 介绍了富勒烯激发态吸收光限幅以及激发态吸收和其它非线性光学效应共同作用的复合型光限幅技术的研究新进展。分析了今后的研究方向。

关键词: 富勒烯 光限幅 激发态吸收

New technology development of fullerenes in the optical limiting

Yang Xuedong, Song Yinglin, Li Feng

(Department of Applied Physics, Harbin Institute of Technology, Harbin, 150001)

Abstract: We summarize the technology development of fullerenes in the areas of both the excited state absorption optical limiting and the hybrid optical limiting including the excited state absorption and other nonlinear optical effects. The main research tasks in the future are also discussed.

Key words: fullerene optical limiting excited state absorption

引 言

富勒烯分子是人工合成的由六十个分子组成的最圆的球形分子, 具有独特的性质, 是一种新型光电子材料。富勒烯分子具有三维共轭 π 电子结构, 在可见光和近红外这一宽广的波段范围内, 富勒烯分子的激发态吸收截面大于其基态吸收截面在这一波段范围内的激光激发下, 其吸收系数随激发激光光强的增加而增大, 具有较强的限幅作用, 对于研制高速、宽带激光防护器件具有重要意义。作为一种新型非线性光学激光防护材料, 富勒烯及其衍生物在非线性光学和光电子领域特别引人注意。在一系列的可能应用的富勒烯器件研究中, 富勒烯光限

复杂的有光阑光学系统的传输变换, 有关结果将另文发表。

参 考 文 献

- 1 Starikov A, Wolf E. J O S A, 1982; 72: 923
- 2 Friberg A T, Turunen J. J O S A, 1988; A5(5): 713
- 3 Friberg A T, Tervonen E, Tununen J. J O S A, 1992; A9: 796
- 4 Simon R, Mukunda N. J O S A, 1993; A10(9): 95
- 5 Friberg A T, Tervonen E, Tununen J. J O S A, 1994; A11(6): 1818
- 6 Friberg A T, Tervonen E, Tununen J. Opt Commun, 1994; 106: 127
- 7 Ambrosini D, Bagini V, Gori F *et al.* J Mod Opt, 1994; 41(7): 1391
- 8 Shirai T, Asakura T. Optik, 1993; 94(1): 1

* * *

作者简介: 张 彬, 女, 1969年9月出生。博士生, 副研究员。主要从事激光光束传输变换研究。