

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0324-03

用二元光学实现 TEM₀₀ 模向 TEM₁₀ 模转换的一维数值模拟

李琦 王骥

(哈尔滨工业大学光电子技术研究所, 哈尔滨 150001)

提要 在利用杨-顾算法设计了用二元光学原理将氦氖高斯基模光束转换成 TEM₁₀ 模的一维情况的 16 阶二元光学元件基础上, 模拟计算了输入光斑大小对衍射效果的影响。模拟结果显示, 在入射光束腰半径偏离设计值 ± 0.03 mm 时, 模拟光强值与预期光强值的相对平均误差小于 1.0%。

关键词 二元光学, TEM₁₀ 模, 数值模拟

中图分类号 O242.1 **文献标识码** A

One-dimensional Calculation of BOE Converting TEM₀₀ to TEM₁₀

LI Qi WANG Qi

(Institute of Opto-Electronic, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

Abstract By YG algorithm, the diffraction of a 16-levels BOE is calculated for converting a He-Ne laser single-mode into TEM₁₀ intensity distribution in one-dimensional case. The simulation results show that the relative average deviation of the designed intensity from the desired intensity is less than 1.0% when the input beam-waist deviation is not more than 0.03 mm.

Key words binary optical element (BOE), TEM₁₀ mode, numerical simulation

1 引言

随着二元光学的不断研究、发展, 人们逐渐认识到二元光学元件(binary optical element, BOE)的重要性, 这种同轴的、能充分利用光能且能产生任意形状的光波波前的衍射光学元件已在很多领域得到应用^[1~4]。

由于在直角坐标系下, 高斯基模光束转化成 TEM₁₀ 模输出的光学系统的计算可通过分离变量化简, 因此, 我们在此只考虑含有一阶厄密多项式的光场分量对应的光场函数变化情况。另一光场分量对应的函数变化比较简单, 暂不考虑。这里, 我们在利用杨-顾算法设计用于将氦氖高斯基模光束转换成 TEM₁₀ 模的 16 阶二元光学元件的基础上^[5], 模拟计算了输入光斑大小对衍射效果的影响。

2 模拟计算原理

高斯基模光束转化成 TEM₁₀ 模输出的光学系

统如图 1 所示。BOE 放在输入平面处, BOE 与输出平面的间隔为 L , 输入光束最大宽度为 x_{1m} , 输出光束最大宽度为 x_{2m} , z 为光轴, 平行光入射。

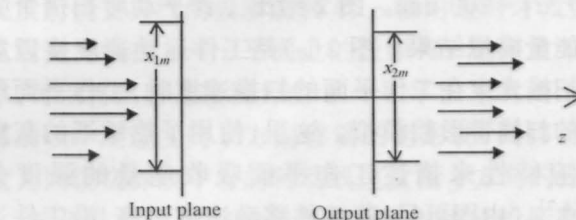


图 1 高斯基模光束转化成 TEM₁₀ 模输出的光学系统示意图(一维情况)

Fig. 1 Optical system of laser beam converting TEM₀₀ to TEM₁₀ (1-D case)

设输入平面的波函数为 $U_1(x_1)$, 输出平面的波函数为 $U_2(x_2)$,

$$U_1(x_1) = a_1(x_1)\exp[i\phi_1(x_1)] \quad (1)$$

$$U_2(x_2) = a_2(x_2)\exp[i\phi_2(x_2)] \quad (2)$$

其中 $a_1(x_1)$ 为输入平面的实振幅, 在此即为:

$$a_1(x_1) = \exp\left(-\frac{x_1^2}{w_0^2}\right) \quad (3)$$

式中 w_0 为入射光束腰半径。

$a_2(x_2)$ 为输出平面的实振幅,在此即为:

$$a_2(x_2) = A \exp\left(-\frac{x_2^2}{w_1^2}\right) \quad (4)$$

式中 w_1 为出射光束腰半径, A 为常量,由能量守恒定律确定。

因为是平行光入射,输入光位相 $\phi_1(x_1)$ 即为 BOE 的位相。利用菲涅耳衍射公式有:

$$U_2(x_2) = \int_0^{1m} G(x_1, x_2) U_1(x_1) dx_1 \quad (5)$$

$$G(x_1, x_2) = \left(\frac{1}{i\lambda L}\right)^{1/2} \exp\left[\frac{i\pi}{\lambda L}(x_2 - x_1)^2\right] \exp\left(\frac{i\pi L}{\lambda}\right) \quad (6)$$

式中 $G(x_1, x_2)$ 是光学系统变换函数, λ 为波长。

根据 Whittake-Shannon 采样理论,连续函数可以由离散点表示。设输入、输出面采样点总数分别为 N_1 和 N_2 。 $U_1(x_1)$ 和 $U_2(x_2)$ 能够用单列矩阵表示, \hat{G} 为 $N_2 \times N_1$ 矩阵。因此, $U_1(x_1)$, $U_2(x_2)$ 和 (5) 式的一维形式分别写为:

$$\left. \begin{aligned} U_{1n} &= a_{1n} \exp(i\phi_{1n}), \\ U_{2m} &= a_{2m} \exp(i\phi_{2m}), \\ U_{2m} &= \sum_{n=1}^{N_1} G_{mn} U_{1n} \\ n &= 1, 2, 3, \dots, N_1, \\ m &= 1, 2, 3, \dots, N_2 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

为了研究输入光斑大小,对 BOE 衍射效果的影响,我们将不同的 w_0 值代入(7)式, ϕ_1 为设计出的 BOE 位相。由此,分别得到与不同 w_0 相对应的输出振幅分布。

另外,还计算了不同的 w_0 值时的模拟光强值与预期光强值的相对平均误差:

$$SE = \frac{\sum_{i=1}^{N_2} (a_{2i} - a_{20i})^2}{\sum_{i=1}^{N_2} a_{20i}^2}$$

3 模拟结果

输入、输出采样点数均为 256;输入光波长 $\lambda = 632.8$ nm,输入光束腰半径 $w_0 = 0.57$ mm;设计的 BOE 与输出平面的间隔 $L = 50$ mm,输入光束最大宽度为 1.42 mm;输出光束腰半径 $w_1 = 0.14$ mm,

输出光束最大宽度为 1.42 mm。

图 2 给出了所设计的 BOE 输出振幅分布,其中点线代表设计值,实线代表预期值。设计出的 16 阶 BOE 模拟光强值与预期光强值的相对平均误差 $SE = 0.89\%$ 。

表 1 给出模拟光强值与预期光强值的相对平均误差 SE 随输入光束腰半径 w_0 变化。

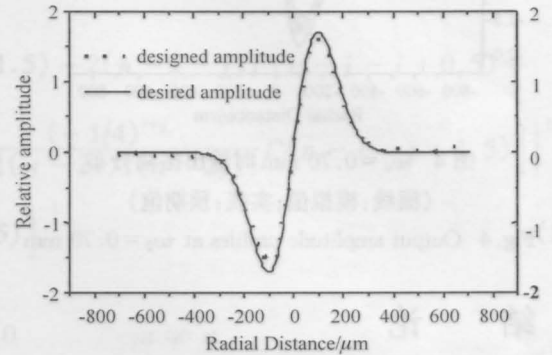


图 2 输出振幅分布(点线:设计值;实线:预期值)

Fig. 2 Output amplitude profiles

表 1 w_0 与 SE 的关系

Table 1 SE with beam-waist

w_0 /mm	SE/%	w_0 /mm	SE/%
0.43	3.65	0.57	0.89
0.45	2.50	0.58	0.90
0.47	2.07	0.61	0.99
0.50	1.45	0.64	1.17
0.53	1.08	0.67	1.39
0.54	1.00	0.70	1.66

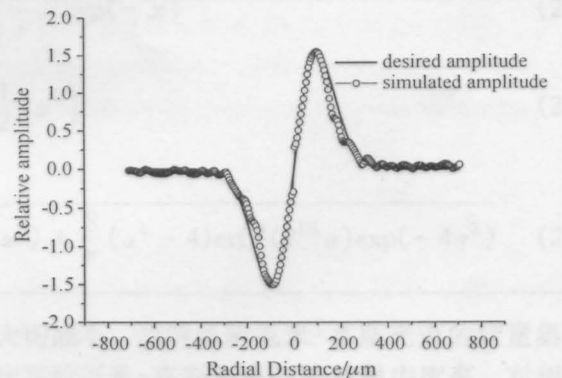


图 3 $w_0 = 0.45$ mm 时输出振幅分布

(圈线:模拟值;实线:预期值)

Fig. 3 Output amplitude profiles at $w_0 = 0.45$ mm

图 3 和图 4 为 $w_0 = 0.45$ mm 和 $w_0 = 0.70$ mm 时的模拟输出振幅分布,计算结果显示:随着输入光束腰半径 w_0 减小,输出振幅峰值变大,出射光束腰半径 w_1 变小;随着输入光束腰半径 w_0 增大,输出

振幅峰值变小,出射光束腰半径 w_1 变大。

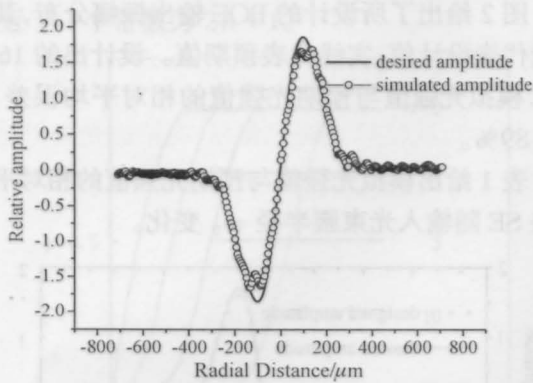


图4 $w_0 = 0.70$ mm 时输出振幅分布
(圈线:模拟值;实线:预期值)

Fig.4 Output amplitude profiles at $w_0 = 0.70$ mm

4 结 论

模拟计算表明,在入射光束腰半径偏离设计值 ± 0.03 mm 时,模拟光强值与预期光强值的相对平

均误差小于 1.0%,与设计结果基本相同。在距离偏离设计值 ± 0.07 mm 时,模拟光强值与预期光强值的相对平均误差不大于 1.5%。

参 考 文 献

- 1 J. Cordingley. Application of a binary diffractive optic for beam shaping in semiconductor processing by lasers. *Appl. Opt.*, 1993, **32**(14):2538~2542
- 2 Han Changyan, Yukihiro Ishii, Kazumi Murata. Reshaping collimated laser beams with Gaussian profile to uniform profiles. *Appl. Opt.*, 1983, **22**(22):3644~3647
- 3 Lee Waihon Lee. Method for converting a Gaussian laser beam into a uniform beam. *Opt. Commun.*, 1981, **36**(6):469~471
- 4 D. Veron, H. Ayrat, C. Guedard *et al.*. Optical spatial smoothing of Nd-glass laser beam. *Opt. Commun.*, 1988, **65**(1):42~46
- 5 Yang Guozhen, Dong Bizhen, Gu Benyan *et al.*. Gerchberg-saxton and Yang-Gu algorithms for phase retrieval in a nonunitary transform system: a comparison. *Appl. Opt.*, 1994, **33**(2):209~218

Table 1. Simulation results for different input beam waist radii.

Input waist radius w_0 (mm)	Output waist radius w_1 (mm)	Relative error (%)
0.70	0.70	0.0
0.73	0.70	4.1
0.67	0.70	-4.1
0.70	0.70	0.0
0.73	0.70	4.1
0.67	0.70	-4.1

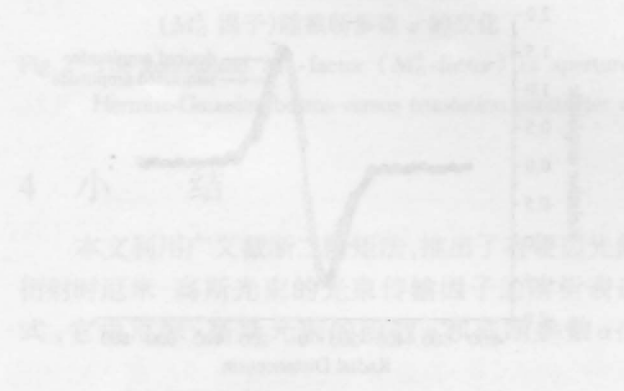


图5 $w_0 = 0.70$ mm 时输出振幅分布
(圈线:模拟值;实线:预期值)

Fig.5 Output amplitude profiles at $w_0 = 0.70$ mm

式入射光束,并随着输入光束腰半径的增大,出射光束腰半径也随之增大,且出射光束的相对平均误差也随之增大。当输入光束腰半径为 0.70 mm 时,出射光束腰半径为 0.70 mm,相对平均误差为 0.0%。当输入光束腰半径为 0.73 mm 时,出射光束腰半径为 0.70 mm,相对平均误差为 4.1%。当输入光束腰半径为 0.67 mm 时,出射光束腰半径为 0.70 mm,相对平均误差为 -4.1%。

均误差小于 1.0%,与设计结果基本相同。在距离偏离设计值 ± 0.07 mm 时,模拟光强值与预期光强值的相对平均误差不大于 1.5%。

果 然 以 对 应

入射光束腰半径为 0.70 mm 时,出射光束腰半径为 0.70 mm,相对平均误差为 0.0%。当输入光束腰半径为 0.73 mm 时,出射光束腰半径为 0.70 mm,相对平均误差为 4.1%。当输入光束腰半径为 0.67 mm 时,出射光束腰半径为 0.70 mm,相对平均误差为 -4.1%。