

文章编号: 1001-3806(2002)01-0035-03

输入光束光斑半径变化对 BOE 整形环的影响

李琦 王骐 高惠德

(哈尔滨工业大学光电子技术研究所可调谐激光技术国家级重点实验室, 哈尔滨, 150001)

摘要: 在已设计的 16 阶用于将 He-Ne 基模高斯光束转换为厚环形光束二元光学元件基础上, 模拟计算了输入光束光斑半径变化对所设计的二元光学元件整形环效果的影响, 模拟结果显示, 当光斑半径偏离设计值在 $\pm 50\mu\text{m}$ 范围内, 环上均匀性的均方误差超出设计值的 5%。同时, 给出了输入光斑半径为 1.745mm 时的实验结果及 660nm 半导体激光实验结果。

关键词: 二元光学; 厚环形; 光束整形

中图分类号: O43 **文献标识码:** A

Influence of input beam radii on ring-shaped intensity produced by BOE

Li Qi, Wang Qi, Gao Huide

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

Abstract: Based on the 16-phase level binary optical element (BOE) designed to convert a given single-mode He-Ne laser beam into a ring-shaped intensity distribution, its shaping effect is numerically simulated for different input beam radii. The simulation results show that the relative mean-square deviation of the shaped amplitude is less than 5% when the difference between the input beam radius and the designed one is within the range of $\pm 50\mu\text{m}$. Furthermore, experiment results have been presented for the case that the input beam radius is 1.745mm and the wavelength for the semiconductor is 660nm.

Key words: binary optical element (BOE); beam shaper; ring-shaped intensity distribution

引言

二元光学元件 BOE 是纯位相型同轴浮雕式衍射光学元件。在理论上, 它是基于惠更斯衍射原理, 采用对光学波面的分析来设计衍射位相轮廓; 在制做方面, 几乎完全不同于传统的制作方式, 它是利用计算机设计和超大规模集成 (VLSI) 电路制作工艺等技术研制成的一种高效率的新型功能元件^[1, 2]。由于它能充分利用光能且能产生任意形状的光波波前, 在激光光束整形等许多领域倍受青睐^[3~6]。

设计好二元光学元件后, 研究与设计不相匹配的参数对设计效果的影响是非常必要的, 具有很强的实际应用价值。为此, 在已设计的 16 阶用于将 He-Ne 基模高斯光束转换为厚环形光束二元光学元件基础上^[7, 8], 我们模拟了不同的输入光斑半径对 BOE 整形环效果的影响; 并确定了输入光束光斑半径容许误差范围, 最后给出了输入光斑半径为

1.745mm 时的实验结果。

这里给出已设计的 16 阶 BOE 有关参数: 输入光波长 $\lambda = 632.8\text{nm}$, 束腰半径 $w_0 = 1.738\text{mm}$; BOE 与输出平面的间隔 $L = 165\text{mm}$, 输入光束最大直径为 4.3mm, 环中心距光轴 z 的距离 $r_0 = 1.086\text{mm}$, 环的厚度 $d_{r_0} = 1.303\text{mm}$ 。为更好对比原理论设计, 可参见文献[8]。

1 模拟原理

将高斯光束整形为厚环形光束的光学系统如图 1 所示。BOE 放在输入平面处, BOE 与输出平面的

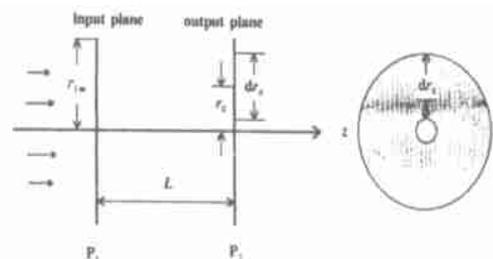


Fig. 1 Schematic optical system for Gaussian laser beam to convert to thick annulus

作者简介: 李琦, 女, 1963 年 11 月出生。博士研究生。现从事二元光学光束整形器件的研究工作。

收稿日期: 2000-10-23; 收到修改稿日期: 2000-12-27

间隔为 L , 输入光束最大半径为 r_{1m} , 环的厚度为 $d r_0$, 环中心距光轴 z 的距离为 r_0 , 入射为平行光。

由于所设计的光学系统呈圆对称性, 只与径向有关, 因此使问题大大简化。设输入平面的波函数为 $U_1(r_1)$, 输出平面的波函数为 $U_2(r_2)$, 则:

$$U_1(r_1) = a_1(r_1) \exp[i \phi_1(r_1)] \quad (1)$$

$$U_2(r_2) = a_2(r_2) \exp[i \phi_2(r_2)] \quad (2)$$

式中, $a_1(r_1)$ 为输入平面的实振幅, 在此即为:

$$a_1(r_1) = \exp(-r_1^2/w^2) \quad (3)$$

式中, w 为光斑半径。

因为是平行光入射, $\phi_1(r_1)$ 即为 BOE 的位相。 $a_2(r_2)$ 是在输出面上的实振幅, $\phi_2(r_2)$ 为输出面上的位相。

利用菲涅耳衍射公式有:

$$U_2(r_2) = \int_0^{r_{1m}} G(r_1, r_2) U_1(r_1) d r_1 \quad (4)$$

$$G(r_1, r_2) = \frac{2}{i L} \frac{r_1}{L} \exp\left\{i \frac{2L^2 + r_1^2 + r_2^2}{2L}\right\} J_0\left(2 \frac{r_1 r_2}{L}\right) \quad (5)$$

式中, $G(r_1, r_2)$ 是光学系统变换函数, $J_0(2 r_1 r_2 / L)$ 是第一类零阶贝塞尔函数, L 为波长。

在具体数值计算中, 按抽样定理, 将连续函数离散化。定义环上均匀性的均方误差 SE 如下:

$$SE = \begin{cases} \frac{\sum_{i=1}^{N_2} (a_{2i} - a_{20i})^2}{\sum_{i=1}^{N_2} a_{20i}^2} & r_0 - d r_0 < r_2 < r_0 + \frac{d r_0}{2} \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (6)$$

在输入窗口大小不变的情况下, 改变光斑半径 w , 利用(3)式可得到不同的输出振幅和环上均匀性的均方误差值; 从而得到光斑半径对 BOE 整形效果的影响规律。

2 模拟结果

表 1 显示了不同光斑半径下的环上均匀性的均方误差 (SE 值), 其中加上下边划线的部分为设计值。从表 1 中, 可以看出光斑半径在 1.520mm 至 2.170mm 范围内, 环上均匀性的均方误差 SE 不超过 2.0%, 值得注意的是, 光斑半径减小比其增大造成的输出振幅不均匀程度更大。当光斑半径偏离设计值在 $\pm 50 \mu\text{m}$ 范围内, 环上均匀性的均方误差不超出设计值 (SE = 0.53%) 的 5%。因此, 在环上均匀性

的均方误差不超出设计值 (SE = 0.53%) 的 5% 时, 输入光束光斑半径容许误差为 $\pm 50 \mu\text{m}$ 。

Table 1 SE with various beam radii

w_0/mm	SE/ %	w_0/mm	SE/ %
1.412	2.8	1.694	0.56
1.520	1.4	<u>1.738</u>	<u>0.53</u>
1.629	0.73	1.803	0.57
1.683	0.58	1.957	0.97
1.688	0.57	2.172	1.9

另外, 输出振幅计算模拟结果显示: 随着光斑半径的减小, 环面上输出振幅分布出现内侧高于外侧, 且差别幅度越来越大, 振幅平均值越来越小; 但是, 在预期环振幅为 0 的区域, 振幅变化不大。这是由于光斑半径的减小, 使输入光束中心高振幅区域变窄, 因此, 造成衍射后环外侧振幅低于内侧。参见图 2 输出振幅分布, 其输入光斑半径 $w = 1.412\text{mm}$ 。

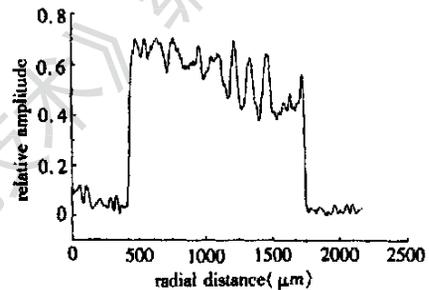


Fig. 2 Output amplitude distribution generated by the designed BOE with $w = 1.412\text{mm}$

计算模拟结果还显示: 随着光斑半径的增大, 环面上输出振幅分布出现内侧低于外侧, 且差别幅度越来越大, 振幅平均值越来越大; 但是, 在预期环振幅为 0 的区域, 振幅变化不大。这主要是由于光斑半径的增大, 使输入光束中心高振幅区域加宽, 因此, 造成衍射后环外侧振幅高于内侧。参见图 3 的输出振幅分布, 其输入光斑半径 $w = 1.803\text{mm}$, 暗区半径为 0.428mm, 环外径 (半径) 为 1.742mm。

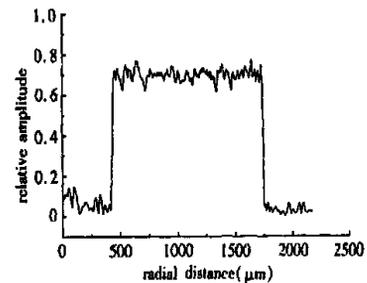


Fig. 3 Output amplitude distribution generated by the designed BOE with $w = 1.803\text{mm}$

通过理论计算, 在同一 BOE 衍射时, 对于不同

波长的激光,改变输入光半径均产生相类似现象。

3 实验结果

实验中,He-Ne 激光管长 300mm、功率 3.2mW、束腰半径 0.31mm; He-Ne 光通过激光扩束系统和 BOE 整形后入射至 CCD,进而将信号传输到光束质量分析仪。LBA-100A 光束质量分析仪可测得输出面强度分布,其中所用 CCD 探测面积为 6mm × 6mm、像素点总数为 565 × 350。光束整形器基片为石英晶体。图 4 为实验装置图。

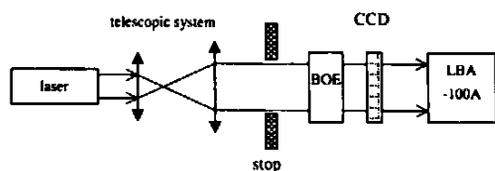


Fig. 4 Experimental setup with He-Ne laser

在图 4 所示的装置图中的光束整形器未放置之前,通过光束质量分析仪,我们测得了氦氖光扩束后的光强分布和高斯拟合的光斑半径。图 5 即氦氖光扩束后的光强分布,高斯拟合的光斑半径为 1.745mm。

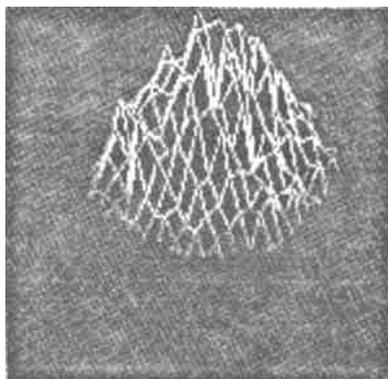


Fig. 5 Intensity distribution for a He-Ne laser after beam expansion

图 6 为按图 4 装置测得的衍射厚环强度分布图。由图 6 可见,环面上的光强分布较均匀,但比设计的光强均匀性低一点;衍射环的内、外半径尺寸分别为 0.432mm 和 1.728mm,与数值模拟计算值匹配得很好。

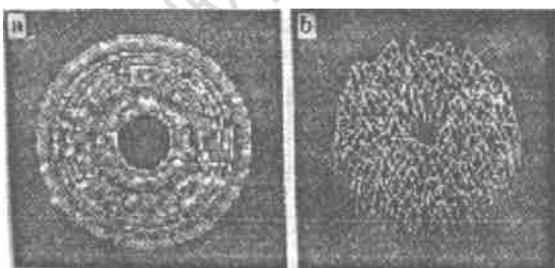


Fig. 6 Experimental output intensity distribution
a—gray scale map b—3D surface

另外,用 660nm 半导体激光进行了输入光半径增大对 BOE 衍射效果影响的实验。

图 7 给出了半导体激光光束高斯拟合的光斑半

径为 1.93mm 的强度图。经 BOE 衍射测得光强分布如图 8 所示。

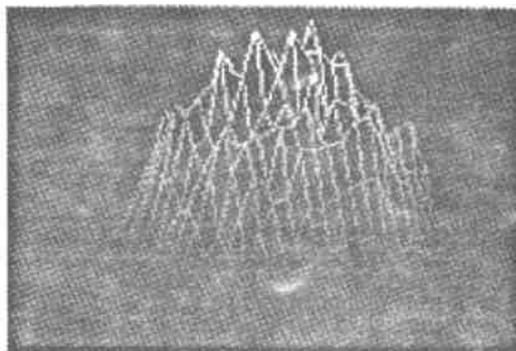


Fig. 7 Intensity distribution of semiconductor laser

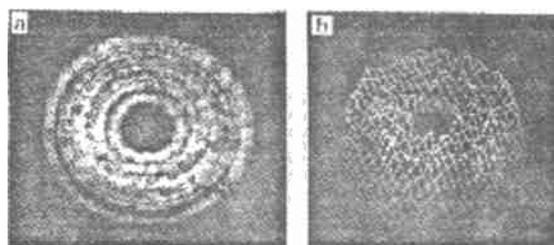


Fig. 8 Diffractive intensity distribution of semiconductor laser at $L = 165\text{mm}$
a—gray scale map b—3D surface

将半导体激光扩束后,测得了输出强度分布,如图 9 所示。高斯拟合的光斑半径为 2.68mm。对于输入窗直径为 4.3mm 来说,实际上,此时的输入光束光强分布已趋于均匀。

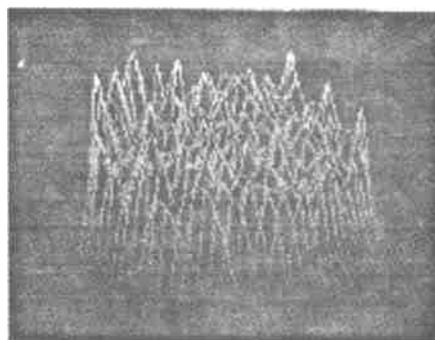


Fig. 9 Intensity distribution for a semiconductor laser after beam expansion

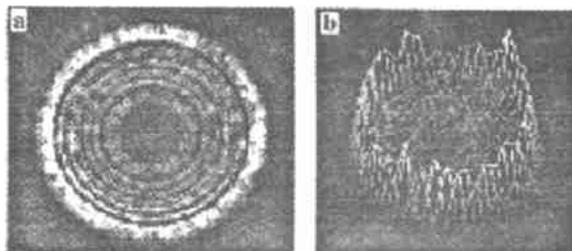


Fig. 10 Diffractive intensity distribution for a semiconductor laser after beam expansion

a—gray scale map b—3D surface (下转第 40 页)

(2) 保持参考光 R 与物体的照明光不变, 换上另一透明物体 $g_0(x_0)$ (人物证件照), 透镜的焦距仍为 $f = 300\text{mm}$, 此时的分数傅里叶变换阶为 $P_1 = 1.25$, 再对全息干板进行第 2 次曝光, 曝光时间 $t_2 = 6\text{s}$ 。经曝光, 显影, 定影得二次曝光 FRTH。



Fig. 3 Reconstruction of D-EFRTH

a—observe directly from the hologram b—the fractional order $P_1 = 1.5, P_2 = 0.5; t_1 = 5\text{s}$ c—the fractional order the hologram $P_1 = 1.25, P_2 = 0.75; t_1 = 6\text{s}$

图 3 是用原参考光再现时记录的实验结果。其中图 3a 是直接观察二次曝光分数傅里叶变换全息图的情况, 无法读出所记录的信息。图 3b、图 3c 是再经相应的分数傅里叶变换后(即解码)所观察到的像。图 3b 中再现系统的分数阶为 $P_2 = 0.5$, 相应的 $z_2 = 87.9\text{mm}$, 此时输出面只有一个清晰的像, 即川大校徽, 而另一个物体的像则为模糊的背景噪声, 无法辨认; 图 3c 中, 再现系统的分数阶为 $P_2 = 0.75$,

相应的 $z_2 = 185.2\text{mm}$, 此时输出面也只有一个清晰的像, 即人物证件照, 而川大校徽的像则为模糊的背景噪声, 无法辨认。

实验表明, 在同一块感光板上对两个不同物体分别用不同的分数阶 P_1, P_1 的变换系统记录, 则在其相匹配的 P_1, P_1 阶变换系统中再现时, 各自输出面的位置是不一样的。

利用二次曝光傅里叶变换全息图再现条件的这些特殊性, 可以制成一种光学安全认证系统, 使其与普通二次曝光傅里叶变换全息图或单次曝光分数傅里叶变换全息图相比具有更高的安全认证可靠性与防伪力度。

参 考 文 献

- [1] Mendlovic D, Ozaktas H M. J O S A, 1993, A10(9) :1875 ~ 1881.
- [2] Lohmann A W. J O S A, 1993, A10(10) :2181 ~ 2186.
- [3] Ozaktas H M, Mendlovic D. J O S A, 1995, A12(4) :743 ~ 751.
- [4] Mendlovic D, Bitran Y, Dorsch R G. Appl Opt, 1995, 34(32) :7541 ~ 7456.
- [5] Gao Y K, Huang Q Zh, Du J L. Opt Acta (in Chinese), 1999, 6(19) : 821 ~ 825
- [6] Dorsch G, Lohmann A W. Appl Opt, 1995, 34(20) :4111 ~ 4112.

(上接第 37 页)

经 BOE 衍射, 测得光强分布如图 10 所示。显然, 环外侧光强大与环内侧光强。上述这些现象, 主要是由于束腰半径远大于设计值。

4 结 论

模拟计算结果表明: 随着光斑半径的增大, 环面上输出振幅分布出现内侧低于外侧, 且差别幅度越来越大, 振幅平均值越来越大; 随着光斑半径的减小, 环面上输出振幅分布出现内侧高于外侧, 且差别幅度越来越大, 振幅平均值越来越小; 在预期环振幅为零的区域, 输出振幅变化不大。当 He-Ne 光输入光斑半径偏离设计值在 $\pm 50\mu\text{m}$ 范围内, 环上均匀性的均方误差不超出设计值 ($SE = 0.53\%$) 的 5%。

目前, 光束质量分析仪的测量精度完全满足所设计 BOE 输入光斑半径的容许误差范围的要求; 即

我们所设计的二元光学元件对测量仪器的精度要求并不苛刻。实验结果与理论模拟结果相吻合。

本实验所用二元光学元件是根据我们的设计由中科院成都光电研究所制作完成的。

参 考 文 献

- [1] 金国藩, 严瑛白, 邬敏贤 *et al.* 二元光学. 北京: 国防工业出版社, 1998, 2.
- [2] Veldkamp W B, McHugh T J. Scient Amer, 1992, 266(5) :50 ~ 55.
- [3] Veldkamp W B. Appl Opt, 1982, 21(17) :3209 ~ 3212.
- [4] Cong W X, Chen N X, Gu B Y. J O S A, 1998, A15(9) : 2362 ~ 2364.
- [5] 赵丽萍, 邬敏贤, 金国藩 *et al.* 光学学报, 1998, 18(5) : 621 ~ 626.
- [6] 高惠德, 李琦, 董蕴华 *et al.* 光电子·激光, 1998, 9(3) : 184 ~ 186.
- [7] 李琦, 高惠德, 董蕴华 *et al.* 中国激光, 2000, 27(4) :312 ~ 316.
- [8] Li Q, Gao H D, Dong Y H *et al.* Opt & Laser Technol, 1998, 30(8) : 511 ~ 514.