

# 一类新的光学元件的可能性

李先枢 杨灼豪 陈小克

(中山大学物理系)

周显光

(华南师范大学物理系)

**提要:** 本文在 [1, 2] 所提出的平面屏系统中光传播的矩阵理论和 [3] 中有关设想的基础上, 首次提出和计算了一个这类新的光学元件的具体设计。这类元件的基本性质是: 任意轴对称的高阶光束模通过一系列这类元件后, 其输出波场中都几乎只包含基光束模成分。显然, 这里面实现了某种把高阶光束模转变为基光束模的变换。因此, 我们把这类光学元件称为光束模变换屏。虽然本文的设计还远不够理想: 能量损耗太大, 单个屏的模转换效率太低。但我们毕竟用一个具体的例子, 从理论上证实了这类新的光学元件的可能性。

## Possibility of developing a new kind of optical elements

*Li Xianshu, Yang Zhuohao, Chen Xiaoke*

(Department of Physics, Zhongshan University)

*Zhou Xianguang*

(Department of Physics, South China Normal University)

**Abstract:** Based on the matrix theory for the light propagation in a system consisting of plane screens [1, 2] and the relevant idea [3] proposed by one of the authors, an initial design for a new kind of optical elements is first presented here. Its main feature is that regardless of the order of the input light beam mode with axial symmetry, after passing through a sequence of these elements the output light wave will be nearly a fundamental mode. Obviously, some action to transform the high order modes of light beam into the fundamental mode should take place here. Hence was named "the screen for transformation of light beam modes". Although our desing is not satisfactory, the energy losses are too large, it has been shown that there is great possibility of developing this new kind of optical element.

根据 [1, 2] 提出的平面屏系统中标量波传播的矩阵理论(柱坐标)以及 [3] 中有关的

设想,设计和计算了一种共轴多环衍射屏。它的中央透光圆孔半径  $r_0$  和第  $i$  个透光环的内、外半径  $r_i$ 、 $r'_i$  分别为

$$\begin{aligned} r_0 &= 0.998\omega; \\ r_1 &= 1.002\omega, & r'_1 &= 1.227\omega; \\ r_2 &= 1.537\omega, & r'_2 &= 1.627\omega; \\ r_3 &= 1.799\omega, & r'_3 &= 1.940\omega; \end{aligned}$$

其中  $\omega$  为所选基光束模(高斯光束)在屏上的光斑半径。把这个平面屏置于图 1 中的  $A-A$  平面上或图 2 中的  $B_i-B_i$  平面上 ( $i=1, 2, 3, \dots$ ), 而讨论图 1 中的  $\Sigma-\Sigma$  平面或图 2 中的  $B_{i+1}-B_{i+1}$  平面上的衍射场, 便得到上述多环屏的作用矩阵  $A^{(0)}$ 。表 1 列出的是这个矩阵的 8 阶截取矩阵; 表 2 中列出的是  $\{A^{(0)}\}^8$  的 8 阶截取矩阵, 它是由  $A^{(0)}$  的 15 阶截取矩阵自乘 8 次后截取所得到的, 它也就是 8 个上述平面屏串接组成的系统(即在图 2 上的  $B_i-B_i, B_{i+1}-B_{i+1}, B_{i+2}-B_{i+2}, \dots, B_{i+7}-B_{i+7}$  平面上各置一个上述平面屏所组成的系统)的作用矩阵  $A^{(0)}$  的 8 阶截取矩阵。表 3 表示  $P=0, 1, 2, \dots, 14$  的各阶轴对称光束模通过上述系统(即接连穿过 8 个上述平

面屏)后, 输出光波场中各阶光束模所占的能量比例。表 1、表 2 和表 3 都是用 North Star 微型计算机以 14 位有效数字算出的。表 1 和表 2 列出的数字取至小数点后 4 位, 表 3 的数字取至 0.1%, 绝对值更小的均已略去。

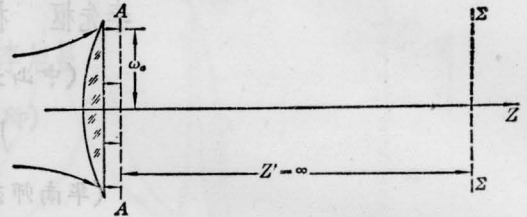


图 1  $Z'$  充分大, 使  $2Z' \gg \frac{\omega_0^2}{\lambda}$ 。

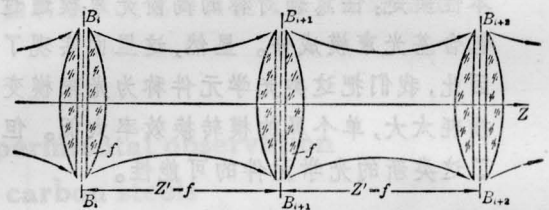


图 2 共焦透镜波导情形。

表 1 多环屏的作用矩阵  $A^{(0)}$

0.8153	1.3940	1.2828	1.0432	0.7823	0.5221	0.3046	0.1557
0.1034	-0.1676	-0.5076	-0.6650	-0.6193	-0.4572	-0.2810	-0.1480
0.0183	-0.1206	-0.1435	-0.0940	-0.0443	-0.0145	-0.0018	0.0017
-0.0018	-0.0444	0.0623	0.1698	0.1958	0.1589	0.1023	0.0559
-0.0086	-0.0225	0.0812	0.1603	0.1664	0.1267	0.0783	0.0411
-0.0111	-0.0293	0.0216	0.0497	0.0451	0.0288	0.0147	0.0064
-0.0109	-0.0384	-0.0376	-0.0496	-0.0573	-0.0503	-0.0349	-0.0201
-0.0088	-0.0378	-0.0643	-0.0951	-0.1014	-0.0820	-0.0535	-0.0294

表 2 8 个多环屏组成的系统的作用矩阵  $\{A^{(0)}\}^8$

0.5604	0.6465	0.3630	0.1577	0.0605	0.0219	0.0075	0.0024
0.0711	0.0873	0.0517	0.0240	0.0102	0.0042	0.0017	0.0007
0.0031	0.0052	0.0040	0.0026	0.0016	0.0010	0.0005	0.0002
-0.0118	-0.0138	-0.0075	-0.0029	-0.0008	-0.0001	0.0001	0.0001
-0.0129	-0.0154	-0.0086	-0.0036	-0.0012	-0.0003	-0.0001	—
-0.0104	-0.0121	-0.0067	-0.0028	-0.0010	-0.0003	-0.0001	—
-0.0072	-0.0081	-0.0044	-0.0018	-0.0006	-0.0002	-0.0001	—
-0.0043	-0.0045	-0.0024	-0.0010	-0.0003	-0.0001	—	—

表3 轴对称各阶光束模接连8次穿过多环屏后,输出光波场中各阶光束模的能量比例

入射光束模( $l=0$ ) 的阶数 $P$	输出波场中 $P$ 不同的各阶光束模所占能量比例(%)							
	$P=0$	1	2	3	4	5	6	7
$P=14$	96.7	0.5	1.6	0.8	0.1	—	0.1	0.1
13	96.8	0.7	1.3	0.8	0.1	—	0.1	0.1
12	96.9	1.0	1.1	0.7	0.1	—	0.1	0.1
11	96.8	1.4	0.9	0.6	0.1	—	0.1	0.1
10	96.5	2.3	0.5	0.5	0.1	—	0.1	—
9	95.3	—	2.8	1.2	0.1	0.1	0.2	0.2
8	96.9	1.0	1.0	0.7	0.1	—	0.1	0.1
7	96.9	1.3	0.9	0.6	0.1	—	0.1	0.1
6	96.8	1.3	0.9	0.6	0.1	—	0.1	0.1
5	96.7	1.0	1.3	0.7	—	—	0.1	0.1
4	97.1	1.3	0.7	0.6	0.1	—	0.1	0.1
3	96.9	0.8	1.3	0.8	0.1	—	0.1	0.1
2	96.6	0.8	1.5	0.8	—	—	0.1	0.1
1	94.2	0.6	2.2	1.3	0.2	0.1	0.5	0.6
0	97.0	0.5	1.3	0.8	0.1	—	0.1	0.1

由上述各表所示的结果中我们看出,这种共轴多环平面屏具有如下的独特性质:由多个这类屏(在本文例中为3个)组成的系统的作用矩阵(在本文中为 $\{A^{(0)}\}^8$ ,参看表2)中,除第一行元素显异于零外,所有其余的元素均近于或极近于零。因此,任何轴对称的高阶光束模和基光束模,从而任何轴对称光束,通过这种系统后,其输出波场中都几乎只包含基光束模(高斯光束)成份。显然,这里发生了某种把高阶光束模转换为基光束模的作用。因此我们把这种屏称为光束模变换屏。

这显然是一类新的光学元件,它对光传播的作用与透镜及所有已知的其它光学元件都不相同。这类元件的发展在激光束传输和

激光器谐振腔技术中的实用意义是显而易见的。它的设计和计算只有根据[1, 2]中提出的标量波传播的矩阵理论才较为实际,要依据已有习用的衍射和干涉理论来设计这种屏是相当困难的。

这里的设计显然还远不够完善。由表2不难看出:各阶模能量损耗太大了。但是,无疑我们已经具体设计出了一个真正的光束模变换屏(尽管它的性质还很差),从而在理论上证实了这类新的光学元件的可能性。

### 参 考 文 献

- [1] 李先枢;《物理学报》,1981,30, No. 4, 503.
- [2] 李先枢;《物理学报》,1981,30, No. 10, 1325.
- [3] 李先枢;《一类新的光学元件的可能性的说明》,《第一届全国基础光学学术报告会》资料,1982年6月。