

非轴对称腔板条固体激光器 *

吕百达 许世发 胡玉芳** 蔡邦维

(四川大学光电科学技术系, 成都)

摘要: 本文使用复曲率张量 Q^{-1} 自再现法分析了柱面-球面镜非轴对称腔的特性, 并用数值计算例说明。报导和讨论了我们的非轴对称腔板条固体激光器的实验结果。

The slab geometry solid state laser With an axially asymmetric resonator

Lu Baida, Xu Shifa, Hu Yufang, Cai Bangwei

(Department of Opto-Electronic Science and
Technology, Sichuan University)

Abstract: By using the self-consistent method of the complex curvature tensor Q^{-1} , the characteristics of the axially asymmetric resonator bounded by cylindrical-spherical mirrors are analysed and illustrated with an numerical example. Our experiment of the slab solid state laser with an axially asymmetric resonator is reported and discussed.

一、引 言

在非轴对称腔中, 光束在 XOZ 和 YOZ 面的变换特性不相同, 本征光束可以是象散椭圆高斯光束、象散点光束或象散椭圆高斯光束与象散点光束的组合等多种配合方式。应用中, 这类光腔具有能提高激光介质抗光损伤阈值等优点而引起重视, 并已进行过一些研究。在近年来实用化研究进展较快的板条固体激光器中, 板条介质本身对光束的变换就有非轴对称性。为进一步提高板条激光器的性能, 已在聚光器设计、激光介质选择、加工工艺和光腔设计等方面做了许多研究工作。文献〔1〕的实验说明, 使用合理设计的非轴对称腔可增加板条固体激光器的能量提取效率, 提高光束质量, 文中还给出了简单的理论分析。在更为普遍的情况下, 即当有复杂象散存在时, 腔内光束出现复杂耦合, 轴对称光腔的分析方法不再适用, 必须加以推广。文献〔2〕和〔3〕研究了这种情况, 给出了非轴对称腔的矩阵分析方法。本文将这一矩阵方法具体用于柱面-球面镜腔, 举出一个数值计算例子说明这类光腔的特性, 还报导了我们使用非轴对称腔板条固体激光器的有关实验研究结果。

*本文中的黑体外文字母表示矩阵。

**现在工作单位: 成都光明器材厂。

二、理论分析

我们采用文献[2]的分析方法, 可称为复曲率张量自再现法^[3]。在图1所示由曲率半径为 R_1 的柱面镜 M_1 和曲率半径为 R_2 的球面镜 M_2 构成的柱面-球面镜腔中, 设镜 M_1 的母线与

Y 轴交成 θ_1 角, 则镜 M_1 、 M_2 的变换矩阵分别为 $\begin{pmatrix} E & 0 \\ R_1 & E \end{pmatrix}$ 和 $\begin{pmatrix} E & 0 \\ R_2 & E \end{pmatrix}$, 式中

$$R_1 = \begin{pmatrix} -2\cos^2\theta_1/R_1 & 2\sin\theta_1\cos\theta_1/R_1 \\ 2\sin\theta_1\cos\theta_1/R_1 & -2\sin^2\theta_1/R_1 \end{pmatrix}, R_2 = \begin{pmatrix} -2/R_2 & 0 \\ 0 & -2/R_2 \end{pmatrix} \quad (1)$$

由镜 M_1 至 M_2 的腔内单程变换矩阵

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E & B \\ 0 & E \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$B = \begin{pmatrix} L_x & 0 \\ 0 & L_y \end{pmatrix}, E = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

这里, 为一般起见, 已设腔内有象散元件使 XOZ 和 YOZ 面腔长可不等, 分别为 L_x, L_y 。

由(1)~(3)式求得光腔 G 参数矩阵

$$G_1 = \begin{pmatrix} \sin^2\theta_1 + g_{x1}\cos^2\theta_1 & (1-g_{x1})\sin\theta_1\cos\theta_1 \\ (1-g_{y1})\sin\theta_1\cos\theta_1 & \cos^2\theta_1 + g_{y1}\sin^2\theta_1 \end{pmatrix}, G_2 = \begin{pmatrix} g_{x2} & 0 \\ 0 & g_{y2} \end{pmatrix} \quad (4)$$

式中, $g_{xi} = 1 - L_x/R_i, g_{yi} = 1 - L_y/R_i, (i=1, 2)$ (5)

使用张量 $ABCD$ 定律和复曲率张量 Q^{-1} 的往返一周自再现条件以及(1)~(5)式, 经矩阵运算, 求得入射到镜 M_1 处光束复曲率张量 Q_1^{-1} 的公式为

$$Q_1^{-1} = \begin{pmatrix} \cos^2\theta_1/R_1 & -\sin\theta_1\cos\theta_1/R_1 \\ -\sin\theta_1\cos\theta_1/R_1 & \sin^2\theta_1/R_1 \end{pmatrix} \pm \begin{pmatrix} 1/L_x g_{x2} & 0 \\ 0 & 1/L_y g_{y2} \end{pmatrix} \sqrt{S} \quad (6)$$

式中, S 为一个 2×2 矩阵, 诸元素为

$$\begin{cases} S_{11} = g_{x2}(\sin^2\theta_1 + g_{x1}\cos^2\theta_1)[1 - g_{x2}(\sin^2\theta_1 + g_{x1}\cos^2\theta_1)] - g_{x2}g_{y2}(1 - g_{x1}) \cdot \\ \quad \cdot (1 - g_{y1})\sin^2\theta_1\cos^2\theta_1 \\ S_{12} = g_{x2}(1 - g_{x1})\sin\theta_1\cos\theta_1[1 - g_{x2}(\sin^2\theta_1 + g_{x1}\cos^2\theta_1)] - g_{y2}(\cos^2\theta_1 + g_{y1}\sin^2\theta_1) \\ S_{21} = g_{y2}(1 - g_{y1})\sin\theta_1\cos\theta_1[1 - g_{x2}(\sin^2\theta_1 + g_{x1}\cos^2\theta_1)] - g_{y2}(\cos^2\theta_1 + g_{y1}\sin^2\theta_1) \\ S_{22} = g_{y2}(\cos^2\theta_1 + g_{y1}\sin^2\theta_1)[1 - g_{y2}(\cos^2\theta_1 + g_{y1}\sin^2\theta_1)] - g_{x2}g_{y2}(1 - g_{x1}) \cdot \\ \quad \cdot (1 - g_{y1})\sin^2\theta_1\cos^2\theta_1 \end{cases} \quad (7)$$

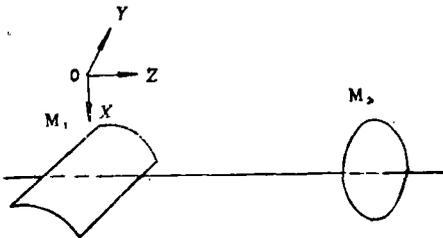


图1 柱面-球面镜腔示意图

用同样的方法, 可求出入射到镜 M_2 处光束的复曲率张量 Q_2^{-1} 的公式, 为节省篇幅从略。将(7)式代入(6)式, 把 Q_1^{-1} 的实部和虚部分开, 分别对角化后, 根据复曲率张量主对角的物理意义, 就可求出在对角化的坐标系中的光束参数。

特例1. $\theta_1 = 0^\circ$, 即柱面镜母线平行于 Y 轴

放置, 易证

$$Q_1^{-1} = \begin{pmatrix} \frac{1}{R_1} \pm \frac{i}{L_x g_{x2}} \sqrt{g_{x1} g_{x2} (1 - g_{x1} g_{x2})} & 0 \\ 0 & \pm \frac{i}{L_y g_{y2}} \sqrt{g_{y2} (1 - g_{y2})} \end{pmatrix} \quad (8)$$

$$Q_2^{-1} = \begin{pmatrix} \frac{1}{R_2} \pm \frac{i}{L_x g_{x1}} \sqrt{g_{x1} g_{x2} (1 - g_{x1} g_{x2})} & 0 \\ 0 & \frac{1}{R_2} \pm \frac{i}{L_y} \sqrt{g_{y2} (1 - g_{y2})} \end{pmatrix} \quad (9)$$

这时, 退化为简单象散腔, 一般情况下为 XOZ 面上的球面-球面镜腔和 YOZ 面上的平面-球面镜腔。光束在 XOZ 和 YOZ 面上变换特性虽然不同, 但相互无耦合, 与分别在 XOZ 和 YOZ 面上使用轴对称腔的 $ABCD$ 定律处理结果相同。

(1) 在 XOZ 面上, 当 $0 < g_{x1} g_{x2} < 1$ 时, 光腔是约束稳定的, 由(8)、(9)式求得在镜 M_1 处高斯光束光斑尺寸 W_{x1} 和等相面曲率半径 ρ_{x1} [14]

$$W_{x1}^2 = \frac{\lambda L_x}{\pi} \sqrt{\frac{g_{xj}}{g_{x1} (1 - g_{x1} g_{x2})}} \quad (\lambda \text{ 为波长}) \quad (10)$$

$$\rho_{x1} = R_i \quad (i, j = 1, 2, i \neq j, \text{ 下同}) \quad (11)$$

当 $g_{x1} g_{x2} > 1$ 或 $g_{x1} g_{x2} < 0$ 时, XOZ 面上光腔是非稳的, 入射在镜 M_1 处本征球面波波面曲率半径

$$\rho_{x1} = \frac{g_{xj} (g_{x1} - 1) \pm \sqrt{g_{x1} g_{x2} (g_{x1} g_{x2} - 1)}}{2g_{x1} g_{x2} - g_{x1} - g_{x2}} L_x \quad (12)$$

当 $g_{x1} \cdot g_{x2} = 0$ 或 1 时, 在 XOZ 面上光腔是临界的, 或为对称共焦腔, 易由腔几何参数区分。

(2) 在 YOZ 面上, 当 $0 < g_{y2} < 1$ 时, 光腔是约束稳定的, 且

$$W_{y1}^2 = \frac{\lambda L_y}{\pi} \sqrt{g_{y2} / (1 - g_{y2})}, \quad \rho_{y1} = \infty \quad (13)$$

$$W_{y2}^2 = \frac{\lambda L_y}{\pi} \sqrt{g_{y2} (1 - g_{y2})}, \quad \rho_{y2} = R_2 \quad (14)$$

当 $g_{y2} > 1$ 或 $g_{y2} < 0$ 时, YOZ 面上光腔是非稳的, 入射在镜 M_1 处本征球面波波面曲率半径

$$\rho_{y1} = \pm \sqrt{g_{y2} / (g_{y2} - 1)} \cdot L_y$$

$$\rho_{y2} = (1 \pm \sqrt{g_{y2} / (g_{y2} - 1)}) L_y \quad (15)$$

当 $g_{y2} = 0$ 或 1 时, 光腔是临界的。

特例2. $\theta_1 = 90^\circ$, 即柱面镜母线与 Y 轴正交,

$$Q_1^{-1} = \begin{pmatrix} \pm \frac{i}{L_x g_{x2}} \sqrt{g_{x2} (1 - g_{x2})} & 0 \\ 0 & \frac{1}{R_1} \pm \frac{i}{L_y g_{y2}} \sqrt{g_{y1} g_{y2} (1 - g_{y1} g_{y2})} \end{pmatrix} \quad (16)$$

$$Q_2^{-1} = \begin{pmatrix} \frac{1}{R_2} \pm \frac{i}{L_x g_x} \sqrt{g_{x2}(1-g_{x2})} & 0 \\ 0 & \frac{1}{R_2} \pm \frac{i}{L_y g_y} \sqrt{g_{y1}g_{y2}(1-g_{y1}g_{y2})} \end{pmatrix} \quad (17)$$

虽然, 这时亦退化为简单象散腔情况, 一般情况下为XOZ面上的平面-球面镜腔和YOZ面上的球面-球面镜腔, 其稳定性分别由 g_{x2} 和 $g_{y1}g_{y2}$ 判别, 光束参数可仿前推出, 从略。

以上讨论的是柱面-球面镜腔的基模本征解。对板条固体激光器, 若不加入专门的限模光阑, 输出一般为多模激光。当腔内本征光束为椭圆高斯光束时, 使用 M^2 因子概念^[5]有

$$W_{m\ell} = M_m W_{\ell 0} \quad (18)$$

$$W_{n\eta} = M_n W_{\eta 0}$$

式中, $W_{\ell 0}$ 、 $W_{\eta 0}$ 、 $W_{m\ell}$ 、 $W_{n\eta}$ 分别为在对角化主方向上基模和多模(模序数 m 、 n)高斯光束光斑尺寸; M_m 、 M_n 为与模序数有关因子, (18)式对光腰也是成立的。光束质量因子定义为多模光束光腰 $W_{m\ell}^0$ 、 $W_{n\eta}^0$ 与多模远场发散角之积

$$W_{m\ell}^0 \cdot \theta_{m\ell} = M_m^2 \frac{\lambda}{\pi} \quad (19)$$

$$W_{n\eta}^0 \cdot \theta_{n\eta} = M_n^2 \frac{\lambda}{\pi}$$

当 m 、 n 已知, 或由实验求得时, 由(18)、(19)式知, 多模椭圆高斯光束特征可由基模光束的传输变换规律得出。

三、数值计算

我们以凹柱面($R_1 = 5\text{m}$)-凹球面镜($R_2 = 3\text{m}$)腔为例, 使用上节公式作数值计算, 使用公式中的有关细节问题请参见文献[3]。当取 $L_x = L_y$ 时, 光腔往返一周矩阵的本征值不随 θ_1 而变, 例如取 $L_x = L_y = 1\text{m}$ 时, $\lambda_{1,2} = 0.333 \pm 0.943i$, $\lambda_{3,4} = 0.067 \pm 0.998i$, 当 $L_x \neq L_y$ 时, 光束在XOZ和YOZ面出现耦合, 本征值随 θ_1 的变化见表1。图2、3分别为镜 M_1 和 M_2 处高斯光束光斑尺寸 W_ξ 、 W_η , 等相面曲率半径 ρ_ξ 、 ρ_η , (ξ 、 η , ξ' 、 η' 分别为光斑椭圆

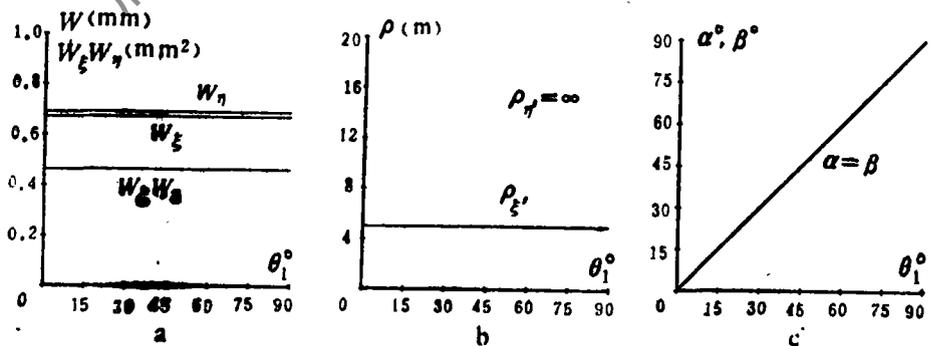


图2 镜 M_1 处椭圆高斯光束的 (a) 光斑尺寸 W_ξ 、 W_η 和 $W_x W_y$; (b) 等相面曲率半径 ρ_ξ 、 ρ_η 和 (c) Q_1^{-1} 的实部、虚部对角化角度 α 、 β 随 θ_1 的变化, 计算用腔几何参数见正文, 图3、图4同

和位相曲面两个对角化的主方向) 和 Q^{-1} 的实、虚部对角化角度随 θ_1 的变化, 图4为 W 、 ρ 和 α 、 β 随腔内传输距离 Z 的变化, 计算起点为镜 M_1 , $\theta_1 = 30^\circ$ 。在图2~图4中均设 $R_1 = 5\text{m}$, $R_2 = 3\text{m}$, $L_x = L_y = 1\text{m}$ 。图5为 $L_x = 1.03\text{m}$, $L_y = 0.88\text{m}$ 时, 镜 M_1 处 W 、 ρ 和 α 、 β 随 θ_1 的

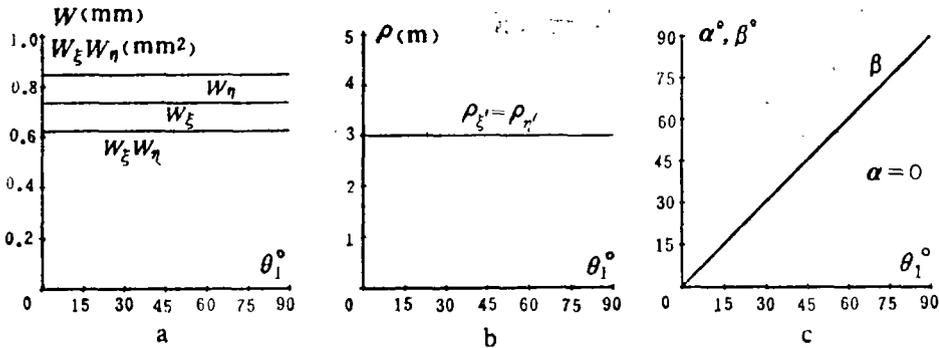


图3 镜 M_2 处椭圆高斯光束的 (a) 光斑尺寸 W_x 、 W_y 和 $W_x W_y$; (b) 等相面曲率半径 ρ_x 、 ρ_y 和 (c) Q^{-1} 实、虚部对角化角度 α 、 β 随 θ_1 的变化

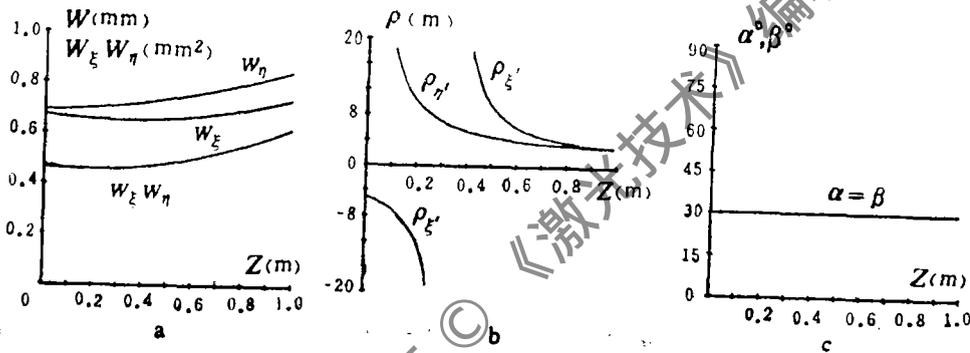


图4 以镜 M_1 为起点, 椭圆高斯光束 (a) 光斑尺寸 W_x 、 W_y 和 $W_x W_y$; (b) 等相面曲率半径 ρ_x 、 ρ_y 和 (c) Q^{-1} 实、虚部对角化角度 α 、 β 随腔内传输距离 Z 的变化, $\theta_1 = 30^\circ$

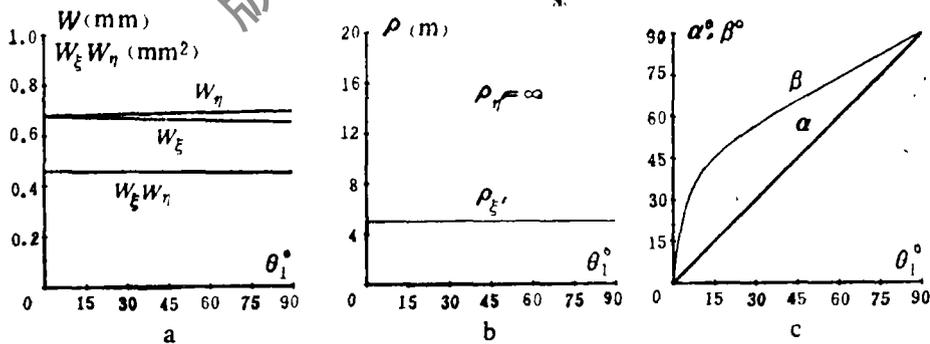


图5 镜 M_1 处椭圆高斯光束的 (a) 光斑尺寸 W_x 、 W_y 和 $W_x W_y$; (b) 等相面曲率半径 ρ_x 、 ρ_y 和 (c) Q^{-1} 的实、虚部对角化角度 α 、 β 随 θ_1 的变化 $R_1 = 5\text{m}$ $R_2 = 3\text{m}$ $L_x = 1.03\text{m}$ $L_y = 0.88\text{m}$

表1 柱面-球面镜腔往返一周矩阵本征值随 θ_1 的变化

$$(R_1 = 5\text{m}, R_2 = 3\text{m}, L_x = 1.03\text{m}, L_y = 0.88\text{m})$$

θ_1	λ	$\lambda_{1,3}$	$\lambda_{3,4}$
0		$0.413 \pm 0.911i$	$0.043 \pm 0.999i$
15		$0.409 \pm 0.913i$	$0.049 \pm 0.999i$
30		$0.395 \pm 0.918i$	$0.066 \pm 0.998i$
45		$0.375 \pm 0.927i$	$0.092 \pm 0.996i$
60		$0.349 \pm 0.937i$	$0.124 \pm 0.992i$
75		$0.325 \pm 0.946i$	$0.152 \pm 0.988i$
90		$0.313 \pm 0.950i$	$0.165 \pm 0.986i$

变化曲线。对椭圆高斯光束，光斑面积为 $\pi W_x W_y$ ，因此图2~图5中还画出了光斑面积（已用 π 作归一化处理）随 $\theta_1 Z$ 的变化曲线。分析图表可知：

1. 因光腔往返一周矩阵本征值均为复数，故光腔在两个对角化主方向上都是约束稳定的，腔内本征光束为象散椭圆高斯光束。

2. 由图2知，当 $L_x = L_y$ 时， Q_1^{-1} 的实、虚部都随 θ_1 同步旋转，这表示位相曲面和光斑椭圆都以相同角度转动，且 W_x 、 W_y 、 ρ_x 、 ρ_y 不随 θ_1 而变，分析图3亦得到光束参数不随 θ_1 而变的结论。此时，光束在两个对角化主方向上无耦合，这从图4腔内光束随传输距离 Z 的变化更清楚反映出来，它与在两个对角化主方向分别使用轴对称腔的 $ABCD$ 定律计算结果是完全相同的。

3. 由图5可见，当腔内有象散，例如 $L_x \neq L_y$ 时， $\alpha \neq \beta$ ，位相曲面和光斑椭圆不再重合，腔内光束出现耦合，必须使用非轴对称腔的矩阵理论，才能得出正确计算结果。容易证明，只需将(2)式用相应的公式代替后，本文的分析公式对腔内有各种象散（例如，倾斜放置的平板、柱面透镜等）的柱面-球面镜腔也是适用的。

四、实验研究

实验在我们研制的板条固体激光装置上进行，光腔示意如图6（ $\theta_1 = 90^\circ$ ），图中， M_1 为曲率半径 $R_1 = 5\text{m}$ 的柱面全反射镜， M_2 为曲率半径 $R_2 = 3\text{m}$ 的球面全反射镜，腔几何长度 1m 、D.P为多层介质膜偏振片， $\lambda/4\text{P}$ 为 $\lambda/4$ 波片、板条激光介质用 $4.9 \times 10 \times 136\text{mm}$ 的磷酸盐钕玻璃，由我们自行加工而成，加工精度经测试合乎使用要求^[9]。激光器脉冲工作，重复频率 1Hz ，使用 $\lambda/4$ 波片移相偏振膜片耦合输出方式，实验中需调节波片光轴方向，以得到最佳耦合输出。当不加光阑时，输出为多模，柱面镜母线与 Y 轴（板条介质厚度方向）成 0° 和 90° 时输出光斑呈矩形，在其它角度时光斑形状有变化，见图7。用打靶法测量远场发散角的典型值为 $\theta_y \cong 2.14\text{mrad}$ $\theta_x \cong 3.14\text{mrad}$ ， $\theta_y \cdot W_y = 2.83\text{mm} \cdot \text{mrad}$ ， $\theta_x \cdot W_x = 11.6\text{mm} \cdot \text{mrad}$ （ $\theta_1 = 0^\circ$ ，泵浦能量 $E_p = 281\text{J}$ ）由此求得 $M_x = 5.86$ $M_y = 2.89$ 。输出激光能量随 θ_1 变化实验曲线见图6，用YAG板条代替钕玻璃，实验中也得到了类似的结果。在多模输出情

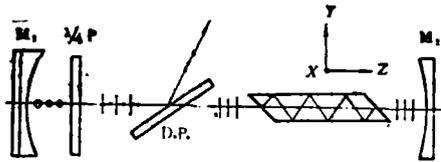


图6 实验光腔示意图

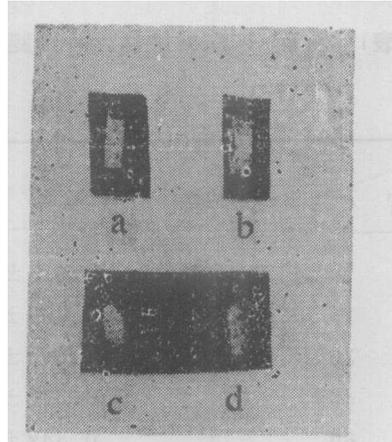


图7 输出激光光斑形状 a— $\theta_1 = 0^\circ$
 b— $\theta_1 = 90^\circ$ c— $\theta_1 = 30^\circ$
 d— $\theta_1 = 60^\circ$

况下，当腔几何尺寸一定时，输出能量与介质增益特性和实际振荡模式数等因素都有关系，在我们的实验条件下，光腔是约束稳定的，可以认为，镜 M_1 绕光轴（Z轴）的旋转并未改变实际振荡模式数，多模输出与基模有相似结果，基本上不随 θ_1 而变。

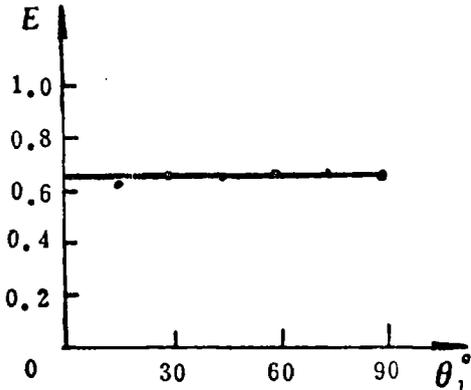


图8 板条激光器输出能量 E （相对值）随 θ_1 变化的实验曲线

五、讨论

1. 本文使用复曲率张量自再现法推导出一般情况下（腔内有象散时）柱面-球面镜腔模参数计算公式，所得结果有较为普遍性意义。当 θ_1 等于某些特殊值时，就退化为简单象散腔的结果。当腔内无象散元件时，与在两个对角化主方向上分别使用轴对称腔的 $ABCD$ 定律所得结果^[1]相同。这说明，它与已有简单理论结果是自洽的，但能处理更为复杂情况。

2. 若用 $R_2 = \begin{pmatrix} -2R_2 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$ (20)式代替(1)式中的 R_2 ，或者在相应公式中令 $g_{y2} = 1$ ，

就得到柱面-柱面镜腔的有关公式。值得注意的是，虽然形式上(20)式比(1)式为简，但这绝不意味着交叉柱面镜腔本征光束的特性比柱面-球面镜腔情况要简单一些。实际上，柱面镜失去了球面镜的旋转对称性，而交叉柱面镜腔代表了较为普遍的一类复杂象散腔，对此将另文讨论。

3. 文中以在两个主方向均为约束稳定的柱面-球面镜腔为例作了数值计算。在这种情况下，本征光束为象散椭圆高斯光束，当腔内无象散元件时，情况比较简单。腔内象散元件的存在使必须对 Q^{-1} 进行对角化计算步骤，光束变换情况变得复杂。我们编制的通用程序对于约束稳定、非稳、临界的各种组合形式都是适用的，在光腔设计时，只需针对具体腔型作设计计算和数值分析并与实验比较就可得出正确结果。

4. 实验表明，将约束稳定的柱面-球面镜腔用于板条激光器是可行的，光腔调整比较方便，易于出光，远场发散角比平凹线形腔实验值要小。但采用图6结构腔内插入元件较多，

国产 $\lambda/4$ 波片和介质偏振片的插入损耗较大,破坏阈值不高,影响了器件的总效率(实验值小于1%),并限制了这类结构光腔在高功率输出情况下的应用。由于非轴对称腔有多种工作和输出方式,非轴对称元件亦有多种选择和配置方案,这类光腔在板条激光器中的应用已引起国内外的兴趣,因而对此进行深入研究是十分必要的。

该项工作得到四川省科委的资助,特此致谢。

参 考 文 献

- [1] Chun M K, Manlius N Y. Face pumped rectangular slab laser apparatus having an improved optical resonator cavity. USP, No.4,559,627,1985
- [2] 林强,王绍民,吕百达.非轴对称光腔的矩阵光学分析.中国激光,1990,17(3):150
- [3] 吕百达,许世发,蔡邦维.复杂象散腔.四川大学学报(待发表)
- [4] 卢亚雄,吕百达.矩阵光学.大连:大连理工大学出版社,1989:198
- [5] Johnston Jr T F. M^2 concept characterizes beam quality. L F World, 1990, 26(5):173
- [6] Lu Baida, Cai Bangwei, Liao Yan *et al.* Flowing air-water cooled slab Nd:glass laser. In: Weber H ed. High power solid state lasers, SPIE, Bellingham, 1988, SPIE, 1989:175

收稿日期:1991年1月28日。

· 简 讯 ·

西物所三项计量标准通过标量标准考核

根据《中华人民共和国计量法》的规定,按照《计量标准考核办法》的要求,四川省计量标准考评组于1991年7月26日对西南技术物理所研制建立的“激光小功率计检定装置”、“激光中功率计检定装置”和“激光能量计检定装置”三项计量标准进行了现场技术考核。

经过考评组对计量标准器及配套设备、技术资料、计量检定人员、规定制度、实验室条件五个方面的考核评定,申报的三项计量标准均以总分98.35分的高分通过考核。考评专家认为:三项计量标准器具均为目前国内最好的;直接使用该所自己研制和改进的高稳定度激光光源为辐射源,光源稳定性能是全国最好的,属国内领先水平;计量标准精度等级均达到1.0%即达到了国家一级工作标准的精度要求。考评组在对三项计量标准考核结论中还写道:“西南技术物理所对计量标准的建立健全和对计量标准考核工作是重视的,该所计量人员在完善标准项目,保证量值准确、可靠等方面做了大量工作,取得了好的成绩,为军品和民品提供了计量保证”。

四川省标准计量管理局将向西南技术物理研究所颁发三项计量标准考核合格证书。

(宋定熙 供稿)