

# 1D VRM 非轴对称虚共焦腔(Nd,Ce):YAG 板条激光器的实验研究\*

冯国英 吕百达 蔡邦维 孔繁龙

黄永忠

(四川大学激光物理与化学研究所, 成都 610064)

(西南技术物理研究所, 成都 610041)

**提要** 对(Nd,Ce):YAG板条固体激光器提出了一维变反射率镜(1D VRM)非轴对称虚共焦腔,并与平行平面腔和旋转对称变反射率镜(2D VRM)虚共焦腔等腔型作了实验比较研究。结果表明,1D VRM虚共焦腔适合板条固体激光器,能兼顾输出激光效率和光束质量。

**关键词** 一维和二维变反射率镜,非轴对称虚共焦腔,(Nd,Ce):YAG板条激光器

板条固体激光器利用介质的几何结构和“之”字形光路,可补偿一阶热透镜效应,使光束参数乘积(束腰宽度与远场发散角的乘积)随泵浦功率变化较小<sup>[1]</sup>。但在板条宽度方向上(定义为 $y$ 方向)光斑尺寸大,聚焦性能差,使用常规稳定腔很难提高 $y$ 方向的光束质量。非稳腔的光束质量与稳定腔相比明显提高,但光束由全反镜的边缘输出,通常为带有明显波纹的环状光束,这对某些实际应用是不利的。为改善板条固体激光器光束质量已作了许多研究。本文提出用一维变反射率镜(1D VRM)非轴对称虚共焦腔来改善光束质量,特别是 $y$ 方向光束质量,进行了实验研究,并与其它腔型作了比较。

## 1 实验装置概述

1D VRM虚共焦腔板条激光器实验装置见图1,板条激光介质是尺寸为 $4.8 \times 10 \times 114$  mm的(Nd,Ce):YAG,光束在介质内被全内反射,沿“之”字形光路前进,谐振腔长为650 mm。在实验中,脉冲氙灯和腔体采用水冷,板条激光介质用流动气体冷却,激光器的运转重复频率可达5 Hz。根据板条介质几何结构特点,我们使用了非轴对称柱面镜腔<sup>[2]</sup>。凸柱面1D超高斯反射率输出镜的母线在 $x$ 方向上,反射率沿母线方向为均匀分布,在 $y$ 方向曲率半径 $R_1 = -3.4$  m。凹柱面全反镜的母线也在 $x$ 方向, $y$ 方向的曲率半径 $R_2 = 4.7$  m。这样,在 $x$ 方向(厚度方向)为平行平面腔,而 $y$ 方向为VRM虚共焦腔。实验中用LPE-1C型激光功率能量计测量激光输出能量。用CCD光束剖面分析系统找出光束的束腰位置,并在束腰处和距离束腰一定距离处探测光斑形状,由一阶矩定重心、二阶矩定束宽,用光腰两点法或三点法可测量输出激光光束质量 $M^2$ 因子。使用此法尽可能减小测量误差的关键是光强的无畸变衰减和应使CCD工

\* 该项工作得到国家教委博士点基金和国家高技术416-2-20项目支持。

收稿日期:1996-01-15;收到修改稿日期:1996-03-07

作在线性区<sup>[3]</sup>。在探测光斑形状分布时,我们在 MTV-1802CB 型 CCD 前面加入一组衰减片,适当调整衰减片的组合,可得到最大灰度值为 200 左右的光斑形状分布,这样,只有光强为光强最大值的 0.5% 以下的部分未被 CCD 探测到,保证了光斑尺寸的测量精度。

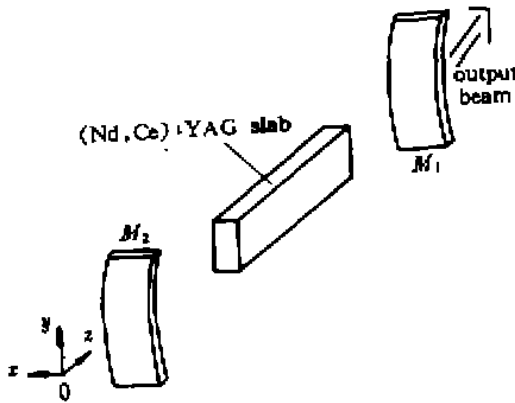


图 1 具有 1D VRM 的非轴对称正共焦腔的实验装置

Fig. 1 Experimental setup of the axis-asymmetric positive confocal resonator with a 1D VRM

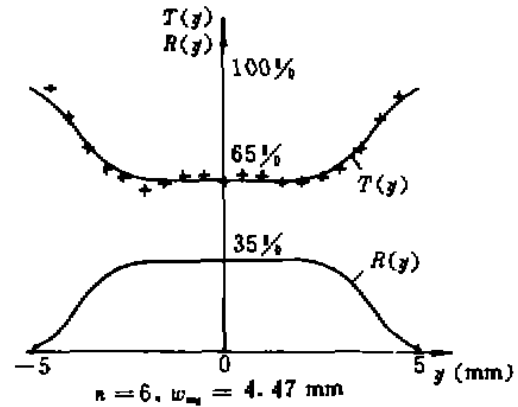


图 2 测得的透过率 (+) 和拟合超高斯曲线  $T(y)$  和  $R(y)$  给出沿 1D VRM 的  $y$  轴的透射率的反射率

Fig. 2 The measured transmissivity (+) and fitting super-Gaussian curves  $T(y)$  and  $R(y)$  show the transmissivity and reflectivity along the  $y$  axis for a 1D VRM

## 2 实验结果和比较

对 1D VRM,用  $1.06 \mu\text{m}$  细光束沿  $y$  方向逐点扫描测量得到的拟合超高斯透过率曲线和相应的反射率曲线见图 2。由图 2 可知,该反射镜的超高斯阶数  $n = 6$ ,膜斑半宽度  $w_m = 4.47 \text{ mm}$ ,中心反射率  $R_0 = 35\%$ 。在  $x$  方向反射率均匀分布。当泵浦能量为  $115 \text{ J}$  时,用 CCD 系统测得输出的激光近场光斑光强分布如图 3 所示。当泵浦能量为  $101.3 \text{ J}$  时,实验测得输出的激光经焦距  $f = 370 \text{ mm}$  的透镜后在束腰处光束  $y$  方向的半宽度为  $w_{y0} = 0.076 \text{ mm}$ ,相同泵浦能量下在距离光腰位置  $z = 165 \text{ mm}$  处  $y$  方向的光斑半宽度为  $w_{y1} = 1.680 \text{ mm}$ ,可求得  $y$  方向光束质量因子  $M_y^2 = 2.3$ ,同法测得  $x$  方向光束质量因子  $M_x^2 = 1.9$ 。

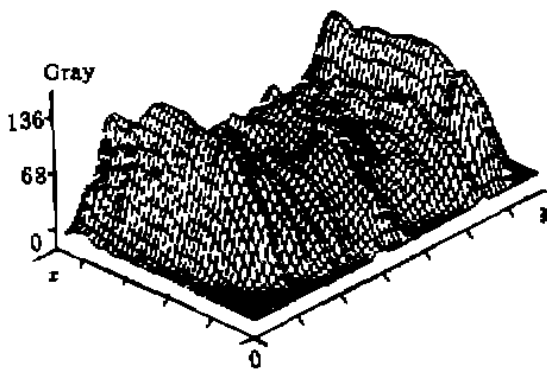


图 3 以 CCD 相机记录的 1D VRM 非轴对称正共焦腔的近场强度分布

Fig. 3 The near-field intensity distribution of an axis-asymmetric positive confocal resonator with 1D VRM recorded by a CCD camera

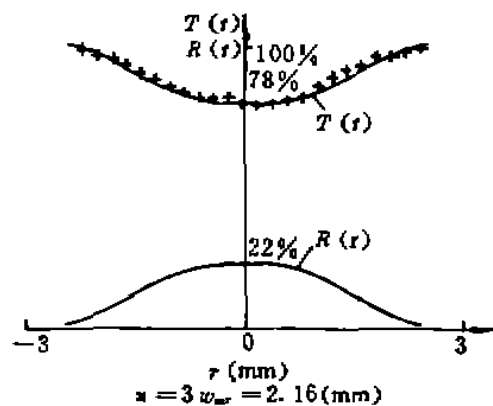


图 4 沿 2D VRM 辐射方向的反射率与透射率的测得透射率 (+) 和拟合超高斯曲线  $R(r)$ 、 $T(r)$

Fig. 4 The measured transmissivity (+) and fitting super-Gaussian curves  $R(r)$   $T(r)$  of reflectivity and transmissivity along the radial direction for a 2D VRM

为了比较,我们在同一板条激光介质上进行了旋转对称超高斯变反射率镜(2D VRM)虚

共焦腔和普通平行平面腔的实验。2D VRM 透过率的测量结果及拟合超高斯透过率曲线和相应的反射率曲线如图 4 所示,由图 4 可知,其超高斯阶数  $n = 3$ ,膜斑半径  $w_m = 2.16 \text{ mm}$ ,中心反射率  $R_0 = 22\%$ 。在 2D VRM 的虚共焦腔实验中,腔长为  $500 \text{ mm}$ ,凸面超高斯 VRM 输出镜曲率半径  $R_1 = -2.0 \text{ m}$ ,全反镜为凹面,曲率半径为  $R_2 = 3.0 \text{ m}$ 。当泵浦能量为  $101.3 \text{ J}$  时,输出的激光光斑形状分布如图 5 示,同上法求得光束质量因子  $M_x^2 = 1.3, M_y^2 = 1.6$ 。

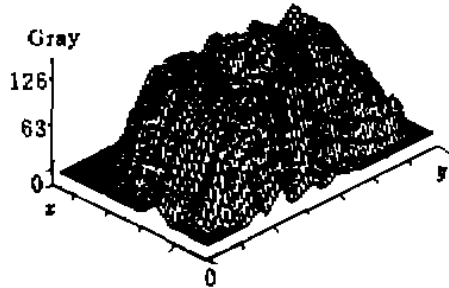


图 5 以 CCD 照相机记录的 2D VRM 正共焦腔的近场强度分布

Fig. 5 The near-field intensity distribution of a positive confocal resonator with a 2D VRM recorded by a CCD camera

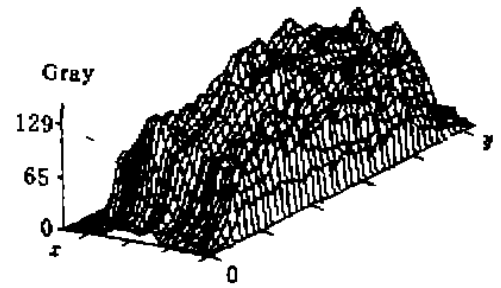


图 6 以 CCD 照相机记录的平-平腔的近场强度分布  
Fig. 6 The near-field intensity distribution of a plane-plane resonator recorded by a CCD camera

对于腔长为  $620 \text{ mm}$ ,平面耦合输出镜透过率为  $70\%$  的普通平平腔,当泵浦能量为  $101.3 \text{ J}$  时,光斑形状分布如图 6 所示,求得光束质量因子  $M_x^2 = 1.9, M_y^2 = 16$ 。

三种腔型的光束质量和激光器效率的实验结果总结于图 7 和图 8。

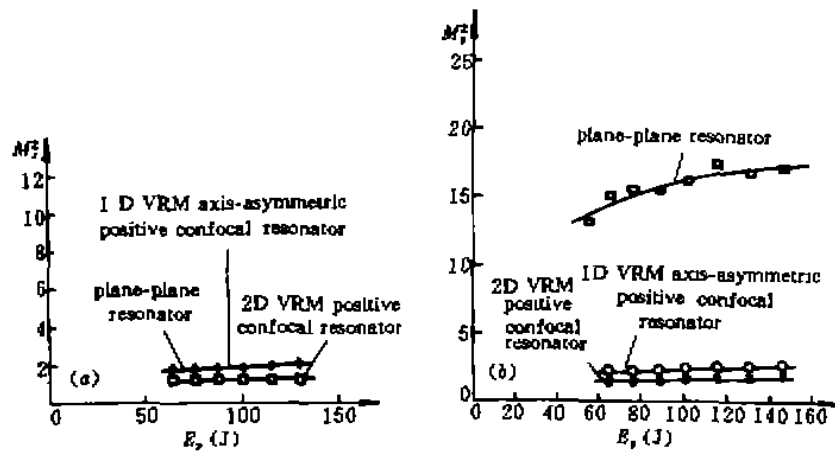


图 7 1D, 2D VRM 正共焦腔和平-平腔作为泵浦能量  $E_p$  的函数沿 (Nd,Ce):YAG 板条激光器  $x$  方向(a) 和  $y$  方向(b) 的光束质量因子  $M_x^2$  和  $M_y^2$

Fig. 7 The beam quality factor  $M_x^2$  along the  $x$  direction (a) and  $M_y^2$  along the  $y$  direction (b) of a (Nd,Ce):YAG slab laser with 1D and 2D VRM positive confocal resonators and a plane-plane resonator as a function of pumping energy  $E_p$

由图 7(a) 表明,板条厚度方向的光束质量均较好。在  $x$  方向上 1D VRM 腔为平平腔型,实验结果与普通平平腔一致。2D VRM 虚共焦腔在  $x$  方向对光束还有进一步的空间限模作用,其光束质量较前两者稍好。图 7(b) 说明,在板条宽度方向上,普通平平腔的光束质量最差,含 VRM 虚共焦腔由于 VRM 的空间限模作用光束质量明显提高。2D VRM 的光斑尺寸和超高斯阶数均低于 1D VRM,  $M_y^2$  因子更小。

图 8 表明,1D VRM 虚共焦腔的激光输出能量和斜率效率最高,普通平平腔的稍小,而 2D VRM 虚共焦腔的最小,这是因为板条横截面上宽厚比为 2.5,2D VRM 的膜斑尺寸不可能同时与板条宽度和厚度匹配,增益介质的利用率低,导致效率比 1D VRM 腔下降  $67\%$  以上;1D

VRM 在虚共焦腔中仅在板条宽度方向上起软边光阑作用,它的反射面曲率半径较全反镜小,且膜斑宽度和超高斯阶数均较 2D VRM 的大,当普通平平腔的输出耦合率未达到最佳时,1D VRM 虚共焦腔的效率可比普通平平腔的高。因此,旋转对称 VRM 腔方案对非轴对称板条激光器并不是可取的。为条件所限,使用同一根质量不高的(Nd, Ce):YAG 板条做实验,因此实验中效率均偏低,但这不影响我们的原理性实验结果。

因板条固体激光器具有非轴对称特点,使用非轴对称腔型,例如柱面-柱面镜<sup>[2]</sup>,柱面-球面镜腔<sup>[4]</sup>,是较为匹配的。欲进一步提高光束质量,尤其是减小宽度方向上的  $M^2$  因子,并兼顾效率,采用 1D VRM 腔应当是一个有效途径。

致谢 对华北光电所张敏工程师对本实验工作的多方帮助表示深切的谢意。

### 参 考 文 献

- 1 N. Hodgson, Q. Lü, S. Dong *et al.*. High power solid state lasers in rod-, slab- and tube geometry. *Laser and Optoelektronik*, 1991, 23(3):82~92
- 2 吕百达, 许世发, 胡玉芳 等. 交叉柱面镜腔的研究. *光学学报*, 1992, 12(6):516~521
- 3 U. Wittrock, S. Dong, B. Eppich *et al.*. Beam parameter products of unstable resonators. *SPIE*, 1995, 2375:172
- 4 M. K. Chun, N. Y. Manlius. Face pumped rectangular slab laser apparatus having an improved optical resonator cavity. USA, USP 4559627, Dec. 17, 1985

## Experimental Study of the (Nd, Ce):YAG Slab Laser Using an Axis-asymmetric Positive Confocal Resonator with a 1D Variable Reflectivity Mirror

Feng Guoying Lü Baida Cai Bangwei Kong Fanlong

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

Huang Yongzhong

(Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu 610041)

**Abstract** An axis-asymmetric positive confocal resonator with a one-dimensional variable reflectivity mirror (1D VRM) for the (Nd, Ce):YAG slab laser is proposed and compared experimentally with the plane-plane resonator and the positive confocal resonator with a rotationally-symmetrical variable reflectivity mirror (2D VRM). It has been shown that the 1D VRM positive confocal resonator is suitable for slab lasers because both output efficiency and beam quality can be improved.

**Key words** one-dimensional (1D) and two-dimensional (2D) variable reflectivity mirror (VRM), axis-asymmetric positive confocal resonator, (Nd, Ce):YAG slab laser

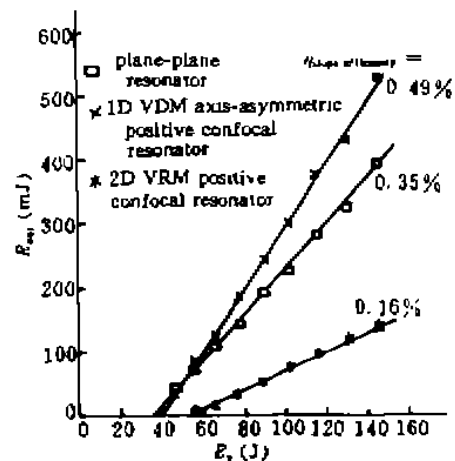


图 8 1D、2D VRM 正共焦腔的平-平腔(Nd, Ce):YAG 板条激光器的输出能量  $E_{out}$  与泵浦能量  $E_p$  的关系

Fig. 8 The output energy  $E_{out}$  of a (Nd, Ce):YAG slab laser with 1D and 2D VRM positive confocal resonators and a plane-plane resonator is plotted against pumping energy  $E_p$ .