

# 板条激光器 VRM 光腔输出激光光束质量实验比较\*

吕百达 冯国英 孔繁龙 蔡邦维  
(四川大学激光物理与化学研究所, 成都, 610064)

摘要: 针对磷酸盐钕玻璃板条激光器, 采用含不同 VRM 的不同谐振腔型对输出激光光束质量进行了实验比较研究, 与普通平凹腔的光束质量也作了比较。测量系统经过数据校核, 结果是正确的, 所得测量结果对 VRM 在板条激光器中的应用有参考价值。

关键词: 磷酸盐钕玻璃板条激光器 变反射率镜 光束质量因子  $M^2$

## Experimental comparison of the output beam quality for the Nd: glass slab laser with VRM

Lü Baida, Feng Guoying, Kong Fanlong, Cai Bangwei  
(Institute of Laser Physics and Chemistry, Sichuan University, Chengdu, 610064)

**Abstract:** By using different types of resonators with different VRMs for the Nd glass slab laser, the experiments have been performed and the output beam quality has been compared. A comparison with plane-concave resonator has been made too. The diagnostic system has been tested and verified, the measurement results are correct, the results obtained in this paper would be useful for the application of VRM to the slab laser.

**Key words:** Nd: glass slab laser variable reflectivity mirror (VRM) beam quality factor  $M^2$

### 引 言

变反射率镜 (VRM) 可消除硬边光阑效应, 改变谐振腔损耗的空间分布, 提高腔的横模鉴

\* 国家高技术强辐射重点实验室基金项目(H-96-1)资助。

2. 刀头的烧结工艺是影响焊缝强度的重要因素之一, 烧结温度、合成压力、保温时间等工艺参数, 不仅影响着刀头的使用性能, 而且影响焊接性能。

3. 焊接工艺是影响焊缝强度的另一重要参数, 其中焊接功率、焊接速度、偏移量是影响焊缝强度的关键因素, 合适的焊接工艺参数才能得到强度高、外观质量好的焊缝, 也才能得到高质量的锯片。

### 参 考 文 献

- 1 Schneider W. Industrial Diamond Review, 1985; (5): 242
- 2 唐霞辉, 朱海红, 朱国富. 中国机械工程, 1997; (7)
- 3 李晓星, 王 柱, 王少阶. 磨料、磨具与磨削, 1988; (1): 24~ 26
- 4 Mosca E, Marchetti A, Lampugnani U. Laser welding of PM materials. Proceedings PM- 82, International Powder Metallurgy Conference 1982, Florence, Italy, Associazione Italiana di Metallurgia, Milano, Italy, 101

作者简介: 朱海红, 女, 1968 年 3 月出生。硕士, 讲师。现从事高功率激光加工的研究应用开发工作。

收稿日期: 1997-07-29

别能力,增大模体积,提高激光介质的填充因子,获得近场分布均匀及远场光能量更集中的高光束质量激光输出,受到激光界的重视。目前,广泛采用的变反射率镜的中心反射率较高,反射率分布呈旋转对称型,与镜的径向坐标呈高斯或超高斯函数关系。板条激光器是基于为获得更高输出功率而提出的一种新型固体激光器,它利用激光介质的对称性和“之”字型光路消除一阶热效应,从而减小了激光束的畸变。但板条固体激光器由于其工作介质宽厚比较大,在板条宽度方向的光束质量较差。本文报道作者在对板条激光器谐振腔作了较为深入的理论和实验研究<sup>[1~3]</sup>的基础上,针对磷酸盐钕玻璃板条激光器进行的含不同 VRM 的不同腔型的比较实验,所得结果对磷酸盐钕玻璃板条激光器 VRM 光腔的优化设计有参考价值。

### 一、方案描述

在磷酸盐钕玻璃板条激光器上,我们进行了三类光腔的比较实验研究:普通平凹腔与二维(2D)VRM 平凹腔,普通平平腔与 2DVRM 平平腔,一维(1D)VRM 虚共焦腔与上述腔的比较实验研究。

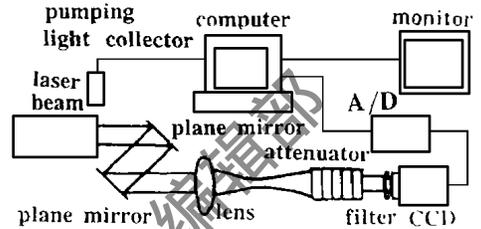


Fig. 1 Schematic diagram of the beam quality diagnostic system

激光光束质量用图 1 所示我们自行研制的 2DCCD 诊断系统测量。对该系统已作线性响应度补偿和数据校核。实验中除用常规测量激光光束质量的聚焦两点法以外,还采用了多点拟合法<sup>[4]</sup>以减小随机误差,提高测量精度。

### 二、实验结果

#### 1. 普通平凹腔与 2DVRM 平凹腔的比较实验研究

普通平凹稳定腔凹面反射镜曲率半径  $R = 5\text{m}$ ,平面镜耦合输出率  $T = 40\%$ ,谐振腔长  $L = 0.5\text{m}$ 。板条激光介质几何尺寸为  $4\text{mm} \times 10\text{mm} \times 118\text{mm}$ 。我们知道,普通平凹腔输出光束质量较差,特别是对于板条激光器,激光介质横截面

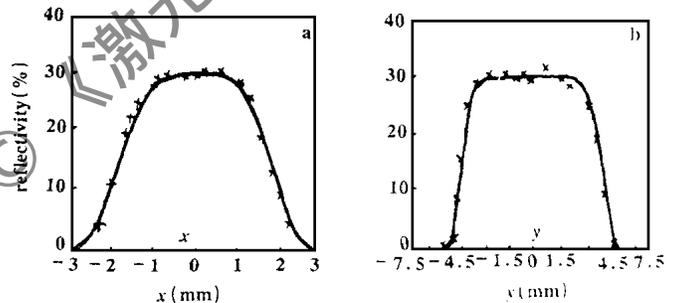


Fig. 2 Reflective profiles of a 2DVRM. The solid lines are the fitted super-Gaussian curves corresponding to (a) the order  $n_x = 4$ , width  $w_{mx} = 2.67\text{mm}$  in the  $x$  direction, and (b)  $n_y = 9$ ,  $w_{my} = 5\text{mm}$ , central reflectivity  $R_0 = 30\%$  in the  $y$  direction

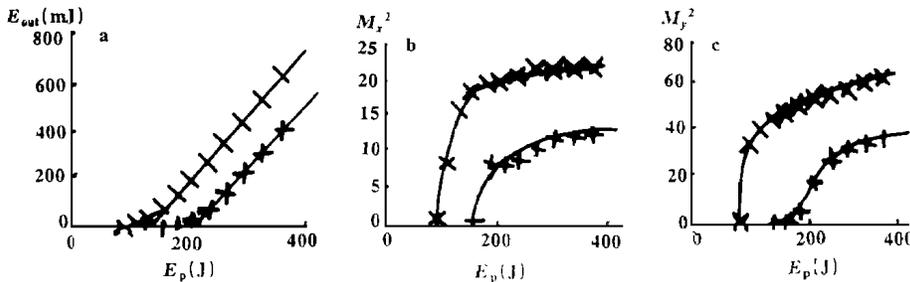


Fig. 3 (a) The output energy  $E_{out}$  and the beam quality factors  $M_x^2, M_y^2$  along the (b)  $x$  and (c)  $y$  directions of a plane-concave resonator and a 2DVRM plane-concave resonator are plotted against pumping energy  
 × - plane-concave resonator + - plane-concave resonator with 2DVRM

纵横比较大,在板条宽度方向谐振腔的菲涅耳数大,光束质量因子  $M^2$  大,传统的方法是在腔内插入小孔光阑进行选模,输出激光光束

质量得到改善,但激光效率明显下降,将平面输出耦合镜换为在板条厚度( $x$ 方向)和板条宽度( $y$ 方向)有不同反射特性的2DVRM(反射率曲线分布如图2a和图2b所示),在其它条件不变的情况下,我们测量了输出激光能量和在 $x$ 方向及 $y$ 方向上随泵浦能量的变化。两种腔型测量结果的比较见图3。

从图3a可见,使用2DVRM的平凹腔在相同泵浦能量情况下,激光输出能量较普通平凹腔小,但激光斜效率保持不变。从图3b可见,在板条厚度方向上由于VRM的空间限模作用,光束质量明显变好, $M^2$ 约为普通平凹腔的1/2倍;图3c也示出了2DVRM在板条宽度方向的空间限模作用。

2. 普通平行平面腔与2DVRM平行平面腔的比较实验研究

类似于1,我们对2DVRM用于平行平面腔(凹面全反镜换为平面全反镜,其余参数不变)也进行了比较实验研究。结果如图4a, b, c所示。2DVRM在平平腔型中也起到了改善光束质量的作用,激光阈值有所增加,但激光斜效率保持不变。

3. 1DVRM虚共焦腔与2DVRM平行平面腔、2DVRM平凹腔的比较实验研究

从1和2所述不难看出,在板条激光腔内引入2DVRM可明显改善输出激光光束质量,为了兼顾输出激光光束质量和效率,必须优化设计VRM腔参数,

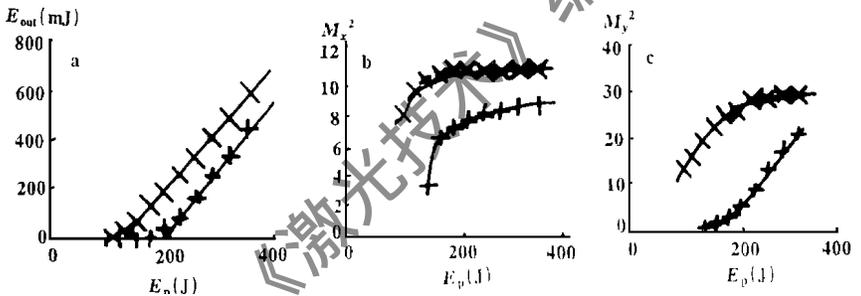


Fig. 4 (a) The output energy  $E_{out}$  and the beam quality factors  $M_x^2, M_y^2$  along the (b)  $x$  and (c)  $y$  directions of a plane-plane resonator and a 2DVRM plane-plane resonator are plotted against pumping energy  
 × — plane-plane resonator + — plane-plane resonator with 2DVRM

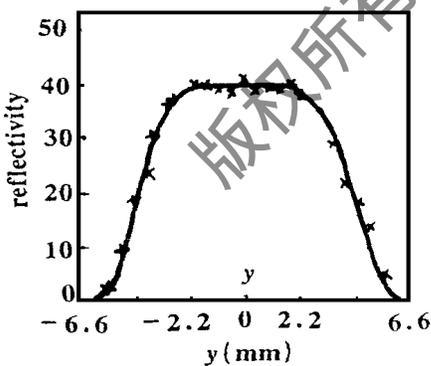


Fig. 5 Reflective profile of a 1DVRM. The solid line is the fitted super-Gaussian curve corresponding to the order  $n_y = 5$ , width  $w_{my} = 5.33$ mm, central reflectivity  $R_0 = 40\%$  in the  $y$  direction

还应考虑到VRM加工的难度。为此,我们设计了一维变反射率柱面镜(一个方向上为均匀反射率分布,另一方向上为变反射率分布,见图5,其加工难度较在两个方向上膜斑尺寸和超高斯阶数均不同的2DVRM加工难度要低。它针对板条大纵横比的特点,着力改善在板条宽度方向的光束质量,在板条厚度方向上腔型为普通平行平面腔;在板条宽度方向输出耦合镜(1DVRM柱面曲率半径为-3.4m)的反射率分布如图4所示,均匀反射率柱面全反镜的曲率半径为4.7m,腔长为0.6m,在 $y$ 方向上谐振腔型为VRM虚共焦腔。作为比较,测量了它在不同泵浦能量下输出激光能量和光束质量,实验结果见图6a, b和c。在 $x$ 方向上,2DVRM平行平面腔输出激光光束质量最好,且随泵浦能量的增加变化较小;在 $y$ 方向上,1DVRM腔输出激光光束质量优于另两个腔。在 $x$ 和 $y$ 方向上采用不同的腔型的1DVRM虚共焦腔,

明显改善了  $y$  方向上的光束质量, 使两方向的光束质量相差不大。

为了更好地比较三种 VRM 腔型, 我们对它们在相同输出

能量下的在板条宽度方向的光束质量因子  $M_y^2$  作了比较, 结果见图 7。容易看出, 在获得相同输出激光能量时, 1DVRM 虚共焦腔输出激光光束质量最好, 且随输出激光能量的增加, 1DVRM 虚共焦腔光束质量变化最小。

### 三、结 论

我们报道了针对磷酸盐致玻璃板条激光器 VRM 光腔进行的实验研究, 对平凹腔、平行平面腔和虚共焦腔三种腔型输出激光光束质量作了实验比较, 还比较了普通谐振腔与输出耦合镜换为 VRM 的谐振腔输出激光光束质量。结果表明: 使用 VRM 稳定腔在阈值附近较容易实现基横模输出, 而当高出阈值附近时, 光束质量迅速变差。使用 VRM 虚共焦腔可得到较高光束质量输出激光, 且随输出功率增加光束质量变化较小。利用 VRM 的空间变反射率分布可在不明显降低输出激光效率前提下改善光束质量, 但由于板条介质横截面的纵横比较大, 常规的旋转对称的 VRM 不一定合适, 针对不同的介质几何形状、增益等参数, 对 VRM 参数(维数、膜斑尺寸、中心反射率和超高斯阶数等)进行优化设计是十分必要的。

### 参 考 文 献

- 1 冯国英, 吕百达, 孔繁龙. 强激光与粒子束, 1997; 9(2): 65~ 71
- 2 Lü B D, Cai B W, Feng G Y *et al.* SPIE Optoelectronic Component Technologies, 1992; 1813: 265~ 273
- 3 吕百达, 冯国英, 蔡邦维. 光学学报, 1994; 14(11): 1127~ 1132
- 4 Jones R D, Scott T R. Opt & Quant Electron, 1994; 26: 25~ 34

\* \* \*

作者简介: 吕百达, 男, 1943 年出生。教授, 博士生导师。主要研究方向为新型和高功率固体激光器件与技术, 光腔物理与光束传输变换。

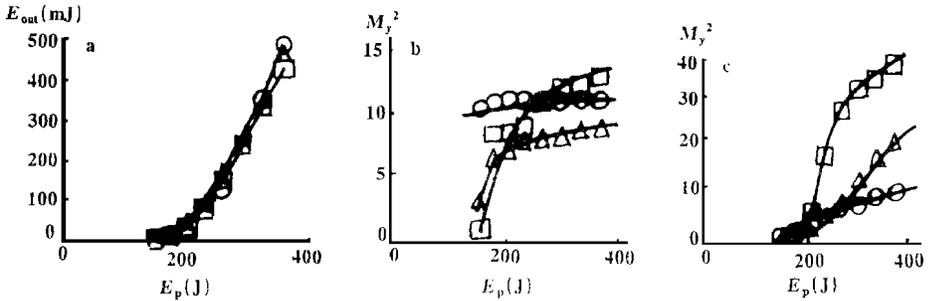


Fig. 6 (a) The output energy  $E_{out}$  and the beam quality factors  $M_x^2$ ,  $M_y^2$  along the (b)  $x$  and (c)  $y$  directions of three laser resonators with VRM are plotted against pumping energy  
□—plane-concave resonator with a 2DVRM    △—plane-plane resonator with a 2DVRM    ○—positive confocal resonator with a 1DVRM

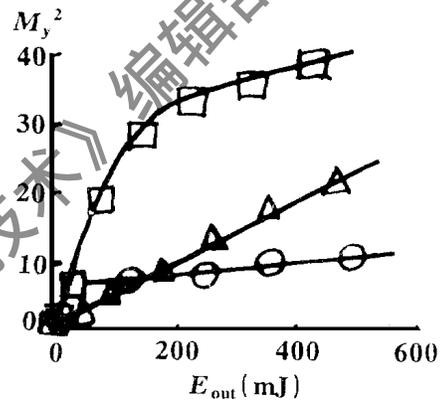


Fig. 7 The beam quality factor  $M_y^2$  along the  $y$  direction of three laser resonators with VRM is plotted against output energy  $E_{out}$   
□—plane-concave resonator with a 2DVRM    △—plane-plane resonator with a 2DVRM    ○—positive confocal resonator with a 1DVRM