

# 一种适用于脉冲 $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ 激光器的 新型横模控制谐振腔

吕振国 符昌海 周建英 李庆行 余振新  
(广州中山大学激光与光谱学研究所, 广州 510275)

## 提 要

本文报道了一种新型横模控制谐振腔——圆形空心波导谐振腔。实验表明这种新型横模控制谐振腔与腔内加小孔光阑的横模控制谐振腔相比, 有基模  $\text{TEM}_{00}$  输出效率明显增高和远场发散角大大减小等优点, 文中对其限横模机理进行了分析和讨论。

关键词: 横模控制谐振腔; 圆形空心波导。

## 一、引 言

目前在固体激光器中采用的横模选择技术是在腔内加小孔光阑或望远镜和用非稳腔来获取基模输出<sup>[1]</sup>。本文报道了一种新型横模限制技术, 即在脉冲  $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$  激光腔内加入圆形空心波导来限制横模。它与腔内加小孔光阑的传统限模技术相比, 具有明显的优越性。

## 二、实验技术和结果

图 1 为腔内插有孔径为 1.38 mm 的小孔光阑的脉冲  $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$  激光器。而在新型结构的横模控制谐振腔中, 如图 2 所示, 采用各种不同尺寸的毛细管, 发现长为 10 cm, 内径为 1.38 mm 的毛细管最适合于腔长  $L \sim 120$  cm 的限横模的实验要求。若所选毛细管内径过小, 则腔内的衍射损耗较大; 而毛细管内径过大, 则达不到限制横模的效果。所以对不同腔长

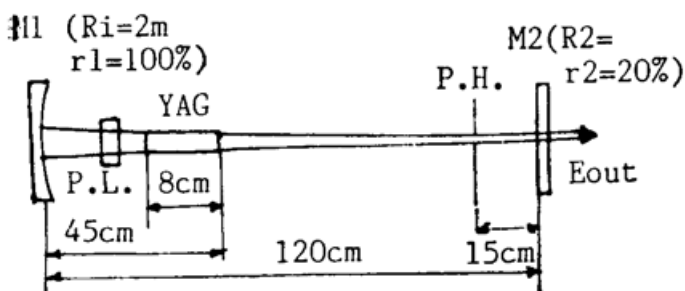


Fig. 1 The experimental configuration of the TMCR with a pinhole

(P. L. —polarizer; P. H. —the 1.38mm diameter pinhole)

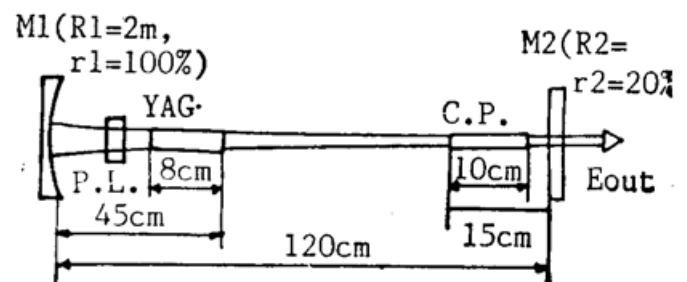


Fig. 2 The experimental configuration of the TMCR a capillary

(P. L. —polarizer; C. P.—the 1.38 mm internal diameter capillary)

和增益的脉冲  $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$  激光器, 应选用不同孔径和长度的毛细管来限横模, 方能达到限横模的最佳效果。

对于新型横模控制谐振腔, 当工作电压为 700 V 时, 激光输出能量为 7.04 mJ; 用针孔扫描法<sup>[2]</sup>得该激光离输出镜  $M_2$  在 6.5 m 处的光强分布如图 3 所示, 并算出远场发散角为 0.58 mrad。为了进行对比, 用孔径 1.38 mm 的小孔光阑代替毛细管限横模(见图 1), 在同样条件下测得激光输出能量为 4.35 mJ。图 4 为该激光在离  $M_2$  6.5 m 处的光强分布图, 用文献[3]报道的方法算出远场发散角为 2.18 mrad。

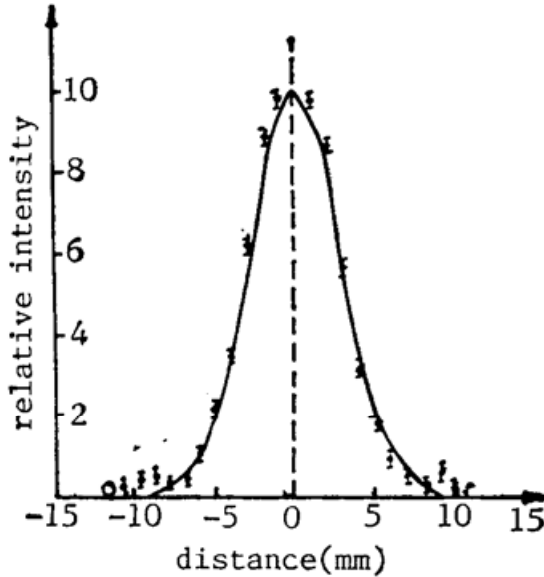


Fig. 3 The field intensity distribution across the beam diameter at the 6.5 m position from the output mirror  $M_2$  for the TMCR with a 1.38 mm internal diameter capillary

(“I” is the experimental results, while the solid line represents a Gaussian profile with its height and width fitted to the experimental value)

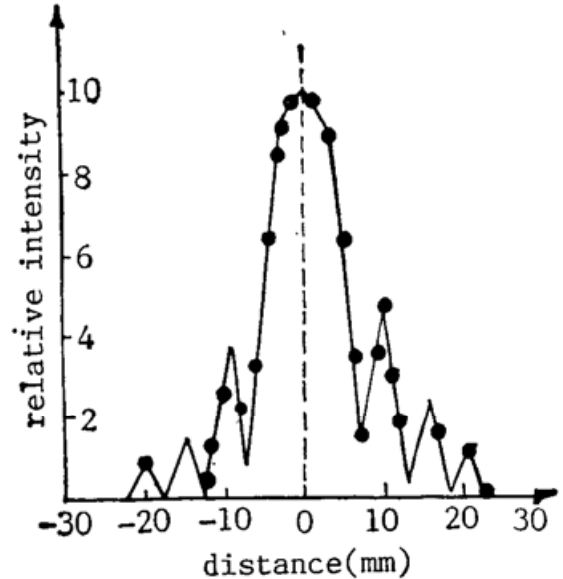


Fig. 4 The field intensity distribution across the beam diameter at the 6.5 m position from the output mirror  $M_2$  for the TMCR with a 1.38 mm diameter pinhole

### 三、理论分析和实验讨论

根据圆形空心波导谐振腔的特点, 可用一组正交归一矢量  $V$  来表示波导本征模的模函数, 则有:

$$TV = \lambda V, \quad (1)$$

式中  $T$  为腔内往返一次的复转换矩阵,  $\lambda$  为其本征值, 由非对角化分析法<sup>[4]</sup>可知

$$\delta_m = 1 - |\lambda_m|^2, \quad (2)$$

$$P_{mk} = |T_{mk}|^2 - |T_{km}|^2, \quad (3)$$

式中  $\delta_m$  为  $\text{EH}_{1m}$  模在腔内往返一次的损耗,  $P_{mk}$  为  $\text{EH}_{1k}$  模从  $\text{EH}_{1m}$  模中获取的净相对能量;  $T_{mk}$ ,  $T_{km}$  是  $T$  的矩阵元;  $\lambda_m$  是  $\lambda$  的矩阵元。

圆形空心波导谐振腔由于含有偏振光学元件, 其控损耗  $\delta_m$  随模的阶数  $m$  增加而迅速增大, 故一般仅考虑其较低的混杂模  $\text{EH}_{1m}$ 。对图 2 中新型横模控制谐振腔, 取激光波长  $\lambda$

$= 1.06 \mu\text{m}$ , 全反镜  $M_1$  的半径  $R_1 = 2 \text{ m}$ , 输出镜  $M_2$  的半径  $R_2 = \infty$ , 腔长  $L = 1.2 \text{ m}$ , 波导口至全反镜  $M_1$  的距离  $z = 1.05 \text{ m}$ , 波导管长  $l = 10 \text{ cm}$ 。数值计算表明, 该腔内各  $\text{EH}_{1m}$  模式间存在能量的相互转换, 且其互换的能量一般不相等, 其趋势是高阶模的能量耦合成为低阶模的能量, 如图 5 所示。图 6 表示在该腔内往返一次后  $\text{EH}_{12}$  模和  $\text{EH}_{11}$  模的谐振腔损耗之差  $(\delta_2 - \delta_1)$  随波导管内半径  $a$  的变化关系。从图 6 可知: 当  $a$  在  $5.6 \sim 7.4 \text{ mm}$  范围内取值时,  $(\delta_2 - \delta_1)$  的值较大。说明在该范围内新型横模控制谐振腔的模式鉴别性好。因此, 在实验上取  $a$  为  $0.69 \text{ mm}$ ; 并算出  $\text{EH}_{11}$  模的  $\delta_1 = 28.1\%$ ; 还计算出图 1 所示腔的  $\text{TEM}_{00}$  模在腔内往返一次的损耗  $\delta_{00} = 57.3\%$ , 由于圆形空心波导腔中的  $\text{EH}_{11}$  模类似基模  $\text{TEM}_{00}$  的场分布<sup>[5]</sup>。从  $\delta_1 < \delta_{00}$  得知, 新型横模控制谐振腔与传统横模控制谐振腔相比, 能获得更高效率的基模  $\text{TEM}_{00}$  输出, 并且新型横模控制谐振腔还能有效地抑制高阶模振荡, 加强基模振荡输出的作用。

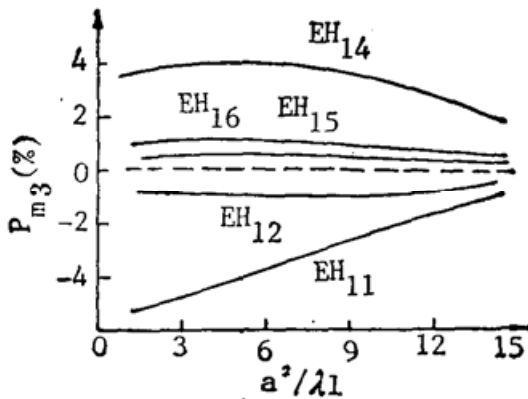


Fig. 5 Energy transformation curves between  $\text{EH}_{13}$  mode and the other  $\text{EH}_{1m}$  modes ( $m \neq 3$ ) in the TMCR with a hollow circular dielectric waveguide

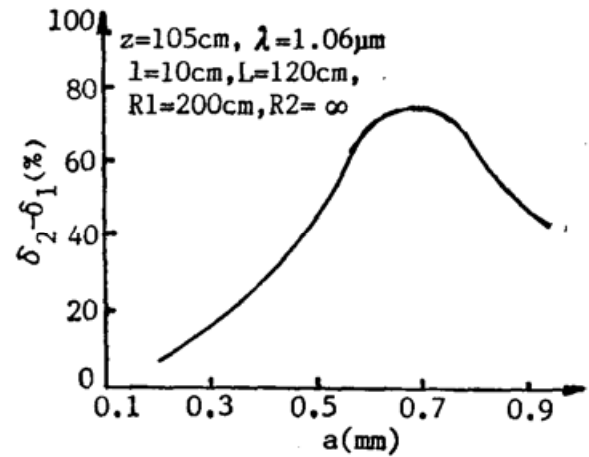


Fig. 6 The margin of the round trip losses between  $\text{EH}_{12}$  and  $\text{EH}_{11}$  versus the internal radius  $a$  (mm) of capillary

从两种结构的横模控制谐振腔的激光输出参量的实验测量值对比表明, 用毛细管比用小孔光阑限制横模效果更好。主要体现在: 限横模孔径部为  $1.38 \text{ mm}$  时, 用新型横模控制谐振腔得到的是基模高斯光束 (见图 3), 而用传统的横模控制谐振腔得到的是高阶模激光束 (见图 4), 且前者激光输出能量提高了  $62\%$ , 远场发散角缩小  $4$  倍。作者认为这些参数改善的主要原因是: 图 2 中的毛细管除了对腔内的模式进行限制外, 还能使腔内高阶模能量耦合成为低阶模能量, 而图 1 中的小孔光阑纯粹是要“滤去”高阶横模后才能获取基模输出, 结果常常难以使输出能量和模式同时满足实际应用的需要, 若采用新型横模控制谐振腔, 就能较好地解决上述矛盾。

#### 四、结 束 语

文中报道了一种新的限横模技术。这种新型横模控制谐振腔明显优于传统的加小孔光阑横模控制谐振腔, 而与腔内加望远镜和用非稳腔限横模的技术相比, 有结构简单, 容易调整 and 输出模式质量好等优点。另外, 在激光腔内加毛细管的这种独特技术也被用在脉冲染料激光器<sup>[6]</sup>和其它光学器件<sup>[7]</sup>中。

## 参 考 文 献

- [1] 徐荣浦等;《激光器件与技术教程》, (北京工业学院出版社, 北京, 1986), 478~492.
- [2] 马祖光;《激光实验方法》, (上海科技出版社, 上海, 1987), 118~136.
- [3] 张培林;《激光》, 1982, 9, No. 7 (Jul), 475~478.
- [4] Zhou Jianying *et al.*; *Opt. Commun.*, (to be published).
- [5] J. J. Degnan; *Appl. Phys.*, 1976, 11, No. 1 (Jan), 1~33.
- [6] Zhou Jianying *et al.*; *Opt. Commun.*, 1989, 74, No. 1~2 (Dec), 75~79.
- [7] Zhou Jianying *et al.*; *Appl. Opt.*, 1990 29, No. 14 (Jul),

## A novel transverse mode control resonator for pulsed Nd<sup>3+</sup>:YAG laser

LÜ ZHENGUO, FÜ CHANGHAI, ZHOU JIANYING, LI QINGXING AND YU ZHENXIN  
(*Institute of Laser and Spectroscopy, Zhongshan University, Guangzhou 510275*)

(Received 17 July 1990; revised 27 September 1990)

### Abstract

It is presented in this letter that a novel transverse mode control resonator (TMCR) can be constructed by using a stable resonator in conjunction with a suitable hollow circular dielectric waveguide. In comparison with a TMCR with a pinhole, the energy conversion of the pump to TEM<sub>00</sub> mode output is high and the beam far field divergence is small. The mechanism of the novel TMCR is discussed and analysed.

**Key words:** transverse mode control resonator, hollow circular dielectric waveguide.