

文章编号: 1001-5078 (2006) 01-0042-02

## TEM<sub>00</sub> 模激光器的稳定运转以及 1/4 λ 波片的作用

张 晶<sup>1,2,3</sup>, 樊仲维<sup>3,4</sup>, 毕 勇<sup>4</sup>, 石朝辉<sup>1,2,3</sup>, 张 瑛<sup>3</sup>, 崔建峰<sup>1,2,3</sup>, 亓 研<sup>4</sup>, 裴 博<sup>3,4</sup>, 赵剑波<sup>3</sup>

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 120022; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100081;

3. 北京国科世纪激光技术有限公司, 北京 100085; 4. 中国科学院光电研究院, 北京 100080)

**摘 要:** 望远镜 Z 形腔设计, 利用大基模体积的腔型特性, 得到了低阶模情况下运转的大功率基频激光器, 而且由于在望远镜腔中, 激光棒上的光斑直径对于热焦距的变化并不敏感, 利用 ABCD 矩阵可以详细的对谐振腔输出特性进行分析。另外, 分析了 1/4 λ 波片对于 Nd:YAG 棒热致双折射效应的补偿作用, 实验结果与理论分析吻合较好。实验中采用了 9 个 20W 的高功率半导体激光器侧面抽运的单 Nd:YAG 棒, 单个声光 Q 驱动器, Z 形腔设计, 最终实现了最高输出功率为 20W, M<sup>2</sup> 因子为 1.2, 稳定性 (RMS 值) < 1% 的 TEM<sub>00</sub> 输出。

**关键词:** 热致双折射效应; 1/4 λ 波片; TEM<sub>00</sub>; 望远镜腔

**中图分类号:** TN248.1 **文献标识码:** A

## Stable Operation of TEM<sub>00</sub> Mode Laser and the Function of 1/4 λ Wave Plate

ZHANG Jing<sup>1,2,3</sup>, FAN Zhong-wei<sup>3,4</sup>, BI Yong<sup>4</sup>, SHI Zhao-hui<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Ying<sup>3</sup>, CUI Jian-feng<sup>1,2,3</sup>,  
QI Yan<sup>4</sup>, PEI Bo<sup>3,4</sup>, ZHAO Jian-bo<sup>3</sup>

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Changchun 120022; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100081; 3. Beijing GK Laser Technology Co., Ltd, Beijing 100085, China;

4. The Chinese Academy of Sciences Opto-Electronic Group, Beijing 100080, China)

**Abstract:** Basic frequency laser of high power operating on the condition of low-order mode was obtained according to the design of Z shape resonant cavity which can get large volume of basic frequency. And the spot size on the Nd:YAG stick is insensitive to the variation of thermal focal length. It is convenient to analyze the output characteristic of resonant cavity using ABCD matrix. In addition, 1/4 λ wave plate compensating the thermal birefringence was analyzed theoretically which is in good agreement with experimental data. In the experiment, we adopted 9 LD bars each of which has 20W output power to side pump single Nd:YAG stick, single Q-switch, Z shape design which realized M<sup>2</sup> factor 1.2, the output power stability of the laser RMS < 1% and the 20W average output power.

**Key words:** thermal birefringence effect; 1/4 λ wave plate; TEM<sub>00</sub> mode; telescopic resonators

### 1 引 言

望远镜腔形设计思路, 与其他类型的谐振腔相比, 特点是效率高、对扰动的灵敏度低<sup>[2]</sup>, 因而引起了许多人的注意, 谐振腔内部的束腰位置相对比较稳定, 尤其对于倍频过程极其有益, 有利于提高倍频效率。而且, 高光束质量和高稳定性运转的基频激光器对于实现短波长激光器的高光束质量和高稳定

性运转有决定性的作用。

本文对 1/4 λ 波片改善光束质量作了理论分析, 并给出了相应的实验结论, 实验结果与理论分析吻

**作者简介:** 张 晶 (1981 - ), 女, 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所读博士生, 现在北京国科世纪激光技术有限公司作毕业设计, 参加了大量的实验与设计工作, 并且所做实验已经用于成型稳定产品。E-mail: zhangjing\_927@tom.com

收稿日期: 2005-07-22

合较好。

## 2 1/4 λ波片补偿 Nd YAG棒的热致双折射效应

内部发热和表面冷却都很均匀的圆柱激光棒,具有径向抛物线线形的热梯度分布,这种梯度分布以及随之产生的热应力将导致折射率发生径向变化,使激光棒成为大像差的双焦正透镜,并引起应力双折射,晶体的光功率直接随着泵浦功率而变化<sup>[3]</sup>。

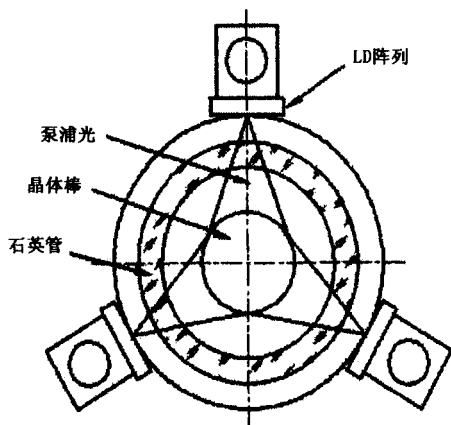


图1 侧面抽运模块的结构图

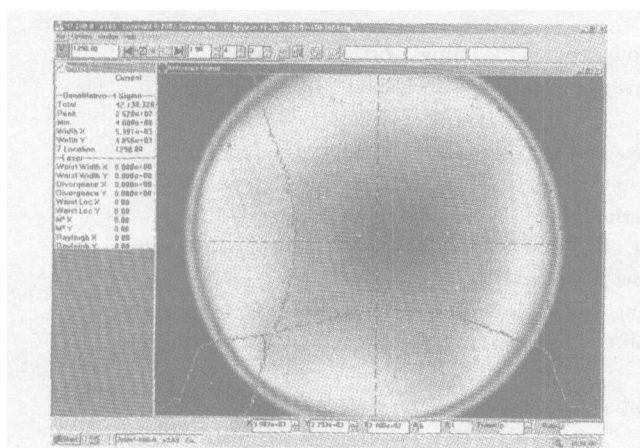


图2 抽运电流下工作物质内的荧光分布图

激光棒中出现的这些强的热效应影响了较高功率的 TEM<sub>00</sub>模。主要问题是由于这些畸变的大像差特性引起波前衰减。对于径向与切向的场分量,透镜的焦距是不同的。在激光棒受到均匀泵浦的理想情况下,热透镜是球面的;而在绝大多数情况下,热透镜并不是球面的,因为棒中心的泵浦功率要强于棒的边缘,如图1用作本实验中 LD阵列侧面泵浦 Nd YAG晶体的热分析。根据激光棒周围泵浦源的结构如图2所示安排,热透镜效应也可能不是径向对称的。由于 TEM<sub>00</sub>模波前的热致光学畸变是限制输出的主要原因,所以获得高质量光束的主要目的就是将棒的热负载减到最小,并补偿谐振腔中存在的畸变。

现在以实验中的侧面泵浦模块为例研究 1/4 λ

波片补偿热致双折射的情况。如图3所示,在垂直于棒轴的平面内选择了点 A (r, φ),该点的径向折射率分量为 n<sub>r</sub>, n<sub>r</sub> 与 y轴成 φ夹角并垂直于切向折射率分量 n<sub>φ</sub>,假设入射光的偏振矢量为 E,点 A 的入射光必须分解为两个分量,它们分别平行于 n<sub>r</sub> 和 n<sub>φ</sub>,由于 Δn<sub>r</sub> ≠ AΔn<sub>φ</sub>,所以在两个分量之间存在相位差,并将会发生椭圆偏振。棒截面内所有的点都会有此表现,但除了图3中 x, y轴上的点,沿 y轴的入射光只出现一种折射率 n<sub>φ</sub>,而沿 x轴的入射光只有唯一的折射率 n<sub>r</sub>。双折射补偿的目的,是为了在棒的截面上每一点的径向和切向偏振辐射都获得相等的相位延迟,可以通过旋转 1/4 λ波片,交换径向和切向偏振分量来实现补偿<sup>[1]</sup>,光线以与 y轴成 45° 通过径向温度分布的激光棒时,都会在相同半径 r 的径向偏振光和切向偏振光之间产生相位差 [ΔA<sub>r</sub>(r) - ΔA<sub>φ</sub>(r)],此时,径向偏振光就会变为切向偏振光,反之亦然。这样就可以消除两光束之间的相位差,从而使腔内的光束以椭圆偏振振荡,改善了光束质量,同时,补偿了热致双折射也使得光线的传播与光轴通向,使得功率增加。

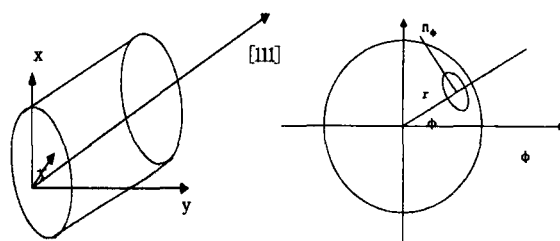


图3 Nd YAG晶体的取向(左)。在热应力 Nd YAG棒中,与棒轴垂直的平面内光率率的取向(右)

## 3 实验装置

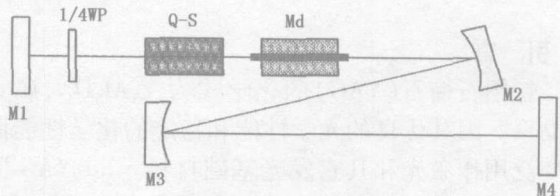


图4 实验装置图

图4是实验装置示意图。抽运源包括一个激光头(Laser Head),由三列互呈 120° 放置的连续激光二极管线阵侧面抽运 Nd YAG晶体棒组成,晶体棒尺寸为 φ3mm × 63mm, Nd离子质量分数为 0.6%, 振荡腔内使用声光调制器产生调 Q 输出。后腔镜 M1是对 1064nm 全反的平面镜, M2和 M3分别是曲率半径分别为 150mm 和 300mm 的凹面镜, M4是 T = 10% @ 1064nm 的输出镜。

(下转第 50 页)

计算和分析也为采用钛宝石飞秒激光器研究光子晶体光纤中的非线性效应提供了一定的理论依据。

#### 参考文献:

- [1] P Russell Photonic crystal fibers[J]. Science, 2003, 299 (2): 358 - 362
- [2] K S Abedin, F Kubota 10GHz, ps regeneratively mode - locked fibre laser incorporating highly nonlinear and dispersive photonic crystal fibre for intracavity nonlinear pulse compression[J]. Electron Lett, 2004, 40 (1): 58 - 59
- [3] 李曙光, 冀玉领, 周贵耀, 等. 多孔微结构光纤中飞秒激光脉冲超连续谱的产生[J]. 物理学报, 2004, 53 (2): 476 - 483
- [4] Z M Zhu, T G Brown Polarization properties of supercontinuum spectragenerated in birefringent photonic crystal fibers[J]. J. Opt Soc. Am. B. 2004, 21 (2): 249 - 257
- [5] N Nishizawa, Y Ito, T Goto, et al Wavelength-Tunable Femtosecond Soliton Pulse Generation for Wavelengths of 0.78-1.0  $\mu\text{m}$  Using Photonic Crystal Fibers and a Ultra-short Fiber Lase[J]. Jpn J. Appl Phys 2003, 42 (2): 449 - 452
- [6] J M Dudley, S Coen Fundamental limits to few - cycle pulse generation from compression of supercontinuum spectra generated in photonic crystal fiber[J]. Opt Express, 2004, 12 (11): 2423 - 2428
- [7] T A Birks, D Mogilevtsev, J C Knight, et al The analogy between photonic crystal fibers and step index fibers[J]. Proc Opt Fiber Conf, San Diego, California, 1999, FG4: 114 - 116
- [8] 贾东方, 余震虹, 等译. 非线性光纤光学原理及应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002
- [9] 吴重庆. 光波导理论[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000
- [10] 李曙光, 刘晓东, 侯蓝田. 一种光子晶体光纤基模色散特性的矢量分析[J]. 物理学报, 2004, 53 (6): 1873 - 1879
- [11] K M Hilligse, T V Andersen, H N Paulsen, et al Supercontinuum generation in a photonic crystal fiber with two zero dispersion wavelengths[J]. Opt Express, 2004, 12 (6): 1045 - 1054

(上接第 43 页)

#### 4 实验结果

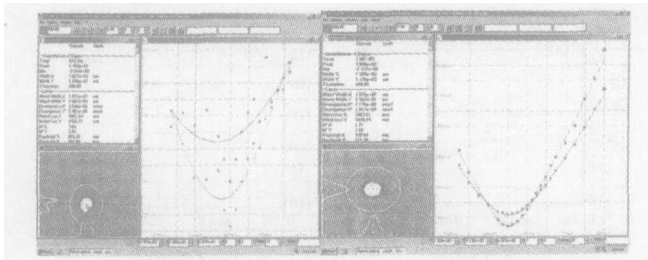


图 5 激光光路中插入  $1/4\lambda$  波片前后的输出光束质量比较

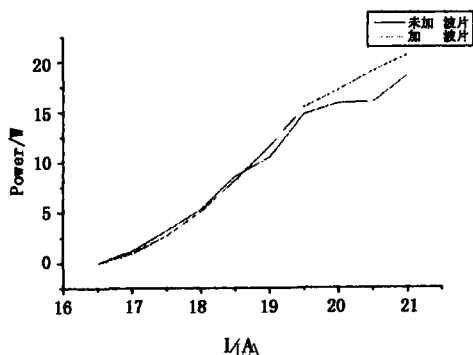


图 6 激光输出功率与注入功率曲线图

图 5 是 Spricon 公司生产的型号为  $M^2 - 200$  的光束质量测试仪测得的激光器在工作状态下插入  $1/4\lambda$  波片前后的光束质量分析图, 可以看到, 光路中没有插入波片时, 光束质量因子  $M_x^2 = 3.04$ ,  $M_y^2 = 3.69$ , 在  $1/4\lambda$  波片插入到光路中后  $M_x^2 = 1.21$ ,  $M_y^2 = 1.26$ , 图 6 为激光输出功率与注入功率曲线

图, 加入  $1/4\lambda$  波片后的功率明显要高于未加波片时的功率, 实验结果均与理论分析相吻合。激光器稳定在 20.6W 时并且经过 2h 的运转, 不稳定性 RMS 值小于 1%, 激光光束束腰仅有  $110\mu\text{m}$ , 非线性晶体放置在束腰位置, 将有利于提高非线性谐波过程效率和光束质量。

#### 5 结论

本文采用理论分析与实验相结合的方式, 对  $1/4\lambda$  波片的作用分析而后用实验证明了理论分析的正确性。实现了 20W 基模状态下稳定性运转的调 Q 激光器, 这将对以后的短波长激光器提高光束质量及稳定性具有指导意义。

#### 参考文献:

- [1] 白晋涛, 乔光学, 张新宝, 等. 腔内倍频 Nd:YAG 激光器中的偏振匹配与  $1/4\lambda$  波片的作用[J]. 西北大学学报, 1995, 25 (2).
- [2] D C Hanna, G G Samyars, M A Yuratich Telescopic resonators for large-volume TEM<sub>00</sub> mode operation[J]. Optical and Quantum Electronics, 1981, 13: 493 - 507
- [3] W 克西耐尔. 固体激光工程[M]. 北京: 科学出版社, 1999, 367 - 375
- [4] D Welford, D M Rines, B J Ddineman Efficient Tem<sub>00</sub> - mode operation of a laser-diode side-pumped Nd:YAG laser[J]. Optical Letters, 1991, 16 (23).
- [5] Toomas H Allid Efficient diode-array pumped Nd:YAG and Nd:Lu:YAG lasers[J]. Optical Letters, 14 (2).