

文章编号: 1001-5078 (2006) 07-0539-03

连续 TEM₀₀ 模激光的稳定运转及热焦距补偿研究

张 晶^{1,2,3}, 樊仲维^{3,4}, 石朝辉^{1,2,3}, 张 瑛³, 崔建峰^{1,2,3}, 亓 研⁴, 牛 岗^{1,2,3}, 王培峰^{1,2,3}

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所; 吉林 长春 130022; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039;

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: U 形腔设计, 利用大基模体积的腔型特性, 得到了低阶模运转的大功率基频激光器, 采用凹透镜补偿激光晶体的热透镜焦距原理对激光晶体的热透镜焦距进行补偿, 试验结果与理论分析结果吻合较好。实验中采用了 9 个 20W 的高功率半导体激光器侧面抽运晶体直径为 2mm 的单 Nd YAG 棒, 长腔型设计, 最终实现了最高输出功率为 22.3W, M^2 因子为 1.8, 稳定性 (RMS 值) < 1% 的 TEM₀₀ 输出。

关键词: 热透镜效应; TEM₀₀ 模; 激光技术;

中图分类号: TN248.1+3 **文献标识码:** A

Stable Operation of CW TEM₀₀ Mode Laser and the Study of Compensating the Thermal-lens Focal Length

ZHANG Jing^{1,2,3}, FAN Zhong-wei^{3,4}, SHI Zhao-hui^{1,2,3}, ZHANG Ying³, CU I Jian-feng^{1,2,3}

Q I Yan⁴, N U Gang^{1,2,3}, WANG Pei-feng^{1,2,3}

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics; Changchun 130022; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039; 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 U shape resonant cavity which could get large volume of basic frequency. In the experiment, concave mirror inserted inside the cavity compensating the thermal birefringence to obtain high output power was analyzed theoretically which was in good agreement with experimental data. In the experiment, we adopted 9 LD bars, each of which have 20W output power to side pump single 2mm Nd YAG stick, and U shape design to realize M^2 factor 1.8, the output power stability of the laser RMS < 1% and the 22.3W output power.

Key words: thermal-lens effect; TEM₀₀ mode; laser technology

1 引 言

由于 TEM₀₀ 模的光束发散角小, 能量密度大, 亮度高, 因此, 很多固体激光器的应用都要求激光器输出 TEM₀₀ 模, 一般来说, 希望激光器输出的光束具有很高的亮度, 而不是很高的总发射功率^[1]。同时, 由于多模运转导致在强度上出现无规则的局部最大值, 即所谓的热斑, 它可能会超出谐振腔中光学元件的损伤阈值。

因为绝大多数激光器不仅能产生高阶模振荡, 而且同时参与这种振荡的模的数量很大。所以一般谐振腔设计时, 最多考虑是在谐振腔中放入一定尺

寸的光阑限制高阶横模, 因此, 激光器是否输出最低阶模, 将取决于谐振腔中模的尺寸和选择的最小光阑的尺寸, 若光阑的直径远大于 TEM₀₀ 模的尺寸, 就产生多模振荡; 反之, 就会增大衍射损耗, 从而不能产生激光振荡。

本文针对于大功率基模情况, 采用简单的长谐振腔设计来获得低纵模, 并同时在谐振腔中插入负

作者简介: 张 晶, 女, 长春光学精密机械与物理研究所在读博士生, 从事固体激光器方面的研究工作, 现在北京国科世纪激光技术有限公司作毕业设计。

收稿日期: 2005-11-28

透镜补偿激光晶体的热透镜效应,以获得大功率基模输出。

2 谐振腔中负透镜对于激光晶体热透镜效应的补偿作用

2.1 激光晶体的热透镜效应

激光晶体在吸收热之后,相当于一个具有焦距的正厚透镜^[2],激光晶体在某一个泵浦功率下的热焦距的测量,目前有两种方法简单可行:一种方法是,He-Ne激光器经过扩束镜后,接近于平行光,然后经过激光晶体,激光晶体在泵浦光抽运情况下,就会把经过扩束镜后的 He-Ne光聚焦到焦点上,通过这种方式,就可以测量出在不同的泵浦功率情况下激光晶体的热焦距,但是这种方法对于激光晶体的热焦距的测量误差较大;另外一种方法是 ABCD 矩阵理论分析,利用谐振腔在稳区边缘时激光晶体热焦距与谐振腔长之间的关系,在实验上可以比较准确地测量出激光晶体在泵浦功率下的热焦距。

谐振腔中, l_1 、 l_2 分别为激光晶体中心距离后腔镜和前腔镜的距离,根据 ABCD 传播矩阵理论,以激光晶体中心为起点,光在谐振腔中往返一周的矩阵为:

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 2l_2 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1/f_t & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 2l_1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{1}$$

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 - \frac{2l_2}{f_t} & 2l_1 - 4l_1 \cdot \frac{l_2}{f_t} + 2l_2 \\ -1/f_t & 1 - 2 \cdot \frac{l_1}{f_t} \end{pmatrix} \tag{2}$$

在满足 $-1 \leq (A + D) / 2 \leq 1$ 条件^[3]下,谐振腔才能够在稳区内振荡,将 (2)式中的 A、D 带入到上述条件中,可以得到 $0 \leq (l_1 + l_2) / f \leq 2$,假设激光晶体中心到后腔镜的距离很短,即 $l_1 \ll l_2$,则可得到 $0 \leq l_2 / f \leq 1$, $l_2 \leq f < \infty$,则可以通过测量晶体中心到输出镜之间的距离,来获得某一泵浦功率下的激光晶体的热透镜焦距长。

2.2 腔内插入负透镜补偿激光晶体热焦距

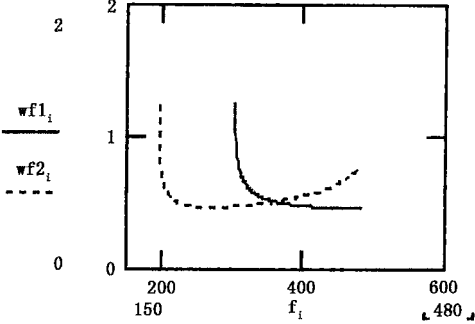


图 1 激光腔内加入凹透镜前后稳区的变化
Fig 1 the variation of stable zone inserting concave mirror inside the cavity

在激光输出镜与激光晶体之间插入一个凹透镜,可以利用 ABCD 矩阵分析,得出在谐振腔内加入凹透镜前后稳区的变化情况,如图 1 所示。

$wf1_i$ 为谐振腔内没有加入凹透镜情况下激光晶体端面的光斑半径, $wf2_i$ 为谐振腔内加入凹透镜后激光晶体端面的光斑半径。从上面的谐振腔稳区图可以看到,腔内加入凹透镜后,在激光晶体端面的激光束半径没有变化,但是稳区范围向短焦距方向移动了,扩大了稳区的范围。

3 实验

3.1 激光晶体热焦距测量

根据上述测量晶体热焦距方法,利用短腔型方法测量 $\phi 2\text{mmNd YAG}$ 晶体棒的热焦距, M1 为基频光的全发射镜片, M2 为对基频光透过率 20% 的输出镜,测量激光晶体热透镜焦距实验装置如图 2 所示。

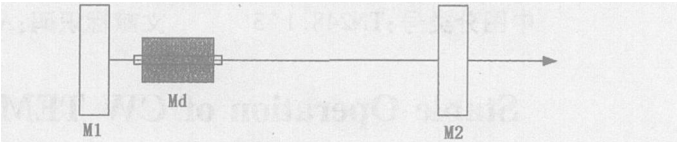


图 2 测量激光晶体热焦距实验图
Fig 2 the experimental map of measuring the thermal focal length of work medium

测得在各泵浦功率下的激光晶体热焦距数据如图 3 所示。

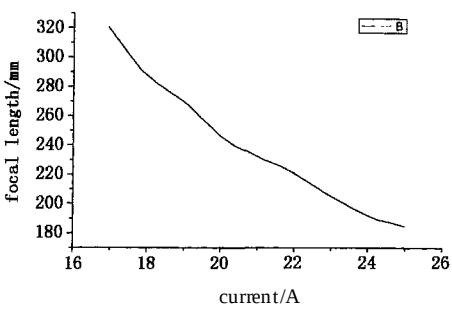


图 3 激光晶体热焦距随注入功率变化的测量曲线
Fig 3 the measure map of focal length of work medium

3.2 实验装置

利用上述选基模腔结构与凹透镜补偿激光晶体原理进行实验,实验装置如图 4 所示, M1 为 F/F 镜片,镀 1064nm 光高反膜, M2 为透过率 20% 的激光输出镜。

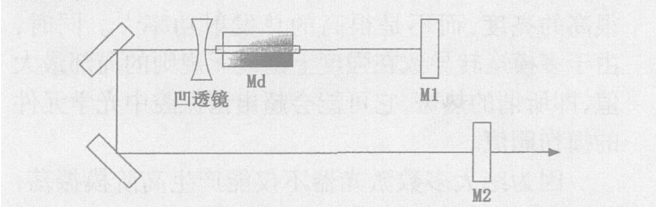


图 4 实验装置图
Fig 4 the sketch map of experimental setting

3.3 实验数据

在腔内未加入凹透镜时,最大输出功率下的电流为 19A,最高输出功率为 16W;腔内加入凹透镜后,最大输出功率下的电流为 23A,最高输出功率为 22.3W,并且此时测得远场发散角 $\times$ 束腰直径为 2.47mm mrad, M^2 因子为 1.8 的激光输出。腔内插入凹透镜前后输出功率随注入电流的变化如图 5 所示。

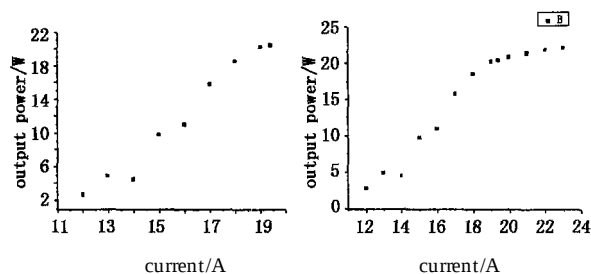


图 5 输出功率随注入电流的输出曲线

Fig 5 the curve of output power varying with the pumping power

4 结 论

本文利用长腔方式对腔内振荡激光束进行选

模,同时利用腔内插入凹透镜来补偿激光晶体的热透镜焦距,保证高功率、高光束质量的激光输出,实验中获得了最大输出功率为 22.3W、输出模式为 TEM₀₀模的激光输出。

参考文献:

- [1] Koechner W. Solid-State Laser Engineering[M]. Beijing: Science Press, 1999, 367 - 375.
- [2] Feng Yan, Bi Yong 20 W Diode Dumped External Frequency-Doubled Nd:YAG Green Laser[J]. ACTA OPTICA SINICA, 2003, 23(4): 469.
- [3] Chen Yuqing, Wang Jinghuan Laser Principle[M]. Zhejiang Hang Zhou University Press, 2002, 200 - 216.
- [4] D Welford, D M Rines, B J Ddineman Efficient TEM₀₀-mode operation of a laser-diode side-pumped Nd:YAG laser[J]. OPTICAL LETTERS, 1991, 16(23).
- [5] Toomas H Allik Efficient diode-array-pumped Nd:YAG and Nd:Lu:YAG lasers[J]. OPTICAL LETTERS, 1989, 14(2).

(上接第 538页)

外激光器,当本振级氙灯注入 31.2J,放大级氙灯注入 30.4J,重复频率 5Hz条件下,获得脉宽 10ns,单脉冲能量 630mJ 的 1064nm 基频激光,经过 KTP 晶体倍频, LBO 晶体混频,得到单脉冲能量 140mJ 的紫外 355nm 激光输出,其脉宽为 9.7ns,光束发散角 1.5mrad,能量不稳定性 2%,光束直径 6.5mm。图 3 为单脉冲波形采样,图 4 为 355nm 激光近场(距出光口 200mm 处)光斑图样。

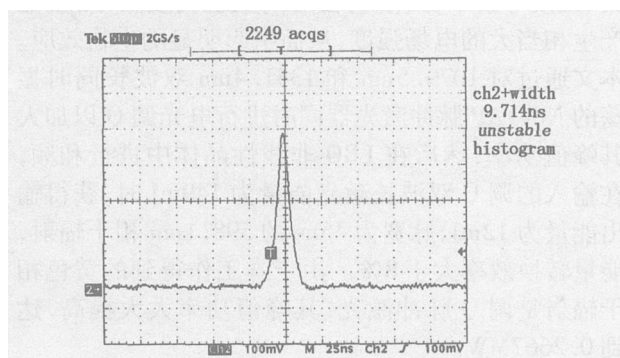


图 3 激光单脉冲波形

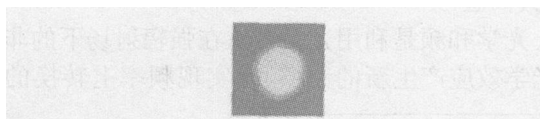


图 4 激光近场光斑

已获得较高的紫外 355nm 激光转换效率(22.2%),主要是由于采用了漫反射聚光腔、高斯

变反射率输出镜(VRM膜)的凹凸非稳腔和 KD*P 电光开关调 Q,从而获得了高峰值功率密度、高偏振度、光场能量分布均匀的基频激光,另外在产生三次谐波时选取角度失谐方案中加入特殊波片,也使得混频过程中 355nm 激光转换效率得到提高。能量不稳定性还可以进一步提高,其主要措施是提高三倍频晶体温控系统的控温精度。

参考文献:

- [1] R S Craxton High Efficiency Frequency Tripling Schemes for High-Power Nd:Glass Lasers[J]. IEEE J. Quant Electron, 1981, 17: 1771 - 1781.
- [2] W Seka, S D Jacobs, J E Rizzo, et al Demonstration of High Efficiency Third Harmonic Conversion of High Power Nd-glass Laser Radiation[J]. Opt Commun, 1980, 34: 469 - 473.
- [3] 郑万国,等. 高功率激光的三倍频高效转换实验[J]. 强激光与粒子束, 1995, 7(3): 417 - 421.
- [4] 宁继平,等. 全固态调 Q 紫外光 Nd:YAG 激光器的研究[J]. 光电子·激光, 2002, 13(8): 777 - 780.
- [5] 袁晓东,等. 高强度大动态范围高效率三倍频转换的数值模拟[J]. 强激光与粒子束, 2000, 12(1): 122 - 126.
- [6] W 克希耐尔. 固体激光工程[M]. 北京:科学出版社, 2002.
- [7] 姚建铨. 非线性光学频率变换及激光调谐技术[M]. 北京:科学出版社, 1995.