

氩激光纵向激励的连续钛宝石激光系统中 泵浦光束的像散及补偿

王军民 李瑞宁

(山西大学光电研究所)

摘要 利用高斯光束的 q 参数和传输矩阵, 对氩激光纵向激励的连续钛宝石激光系统中泵浦光束的像散及像散补偿作了定量分析。实验中泵浦光束的像散得到补偿后, 系统的斜坡效率由原来的 21.9% 提高到 24.8%。

关键词 连续钛宝石激光器, 像散补偿, 泵浦光束

中国分类号 TN248.1

0 引言

近年来, 钛宝石激光器以其高输出、宽调谐、运转可靠、使用方便等诸多优点受到了人们极大的关注。连续运转的钛宝石激光器多以可见多谱线输出的氩激光($514.5 \sim 528.7\text{nm}$)纵向激励, 以提高泵浦速率和泵浦效率; 并多采用四镜折叠^[1-2]和四镜环行^[3-4]像散腔, 以补偿由布氏角切割的钛宝石激光棒所引起的腔模像散。在这类系统中, 若使得腔模与泵浦光束在空间上相匹配, 则可降低泵浦阈值, 提高转换效率^[5]。已经有许多文献^[6-7]讨论了上述像散腔中腔模的像散及补偿问题; 本文则主要讨论泵浦光束的像散及补偿问题。首先简单描述一下我们的连续钛宝石激光系统及腔模像散, 然后利用高斯光束的 q 参数和传输矩阵讨论泵浦光束的像散及补偿方法, 最后介绍实验结果。

1 腔模的像散及补偿简述

当光束斜入射到一个平行平板介质中时, 由于光束在子午面(tangential plane)和弧矢面(sagittal-plane)内所受到的变换不同, 从而光束在这两个面内产生了光程差, 即存在像散。连续运转的钛宝石激光系统中, 布氏角切割的钛宝石激光棒即引起了腔模较为严重的像散, 不仅使得输出激光的光束质量降低, 而且使谐振腔的稳定区域缩小, 因此在实际应用中力求避免。

通常是采用四镜折叠或四镜环行腔, 由倾斜适当角度的球面反射镜可以补偿腔模由布

氏角切割的钛宝石激光棒引起的像散^[6]。在我们的连续钛宝石激光系统^[2]中, 所用钛宝石激光棒的尺寸为 $\Phi 4 \times 20$, 布氏角切割, α (514.5nm) 约为 1.00mm^{-1} , FOM 值大于 200, 由美国 Union Carbide 公司生长并加工。腔型采用四镜折叠腔, 两折叠臂长度为 $L_1 \sim 342\text{mm}$, $L_2 \sim 340\text{mm}$, 谐振腔总体长度约为 800mm; 球面反射镜 M_1 和 M_2 的曲率半径约为 102mm; 钛宝石激光棒被固定在一个水冷的激光头中, 置于两球面反射镜中心; 呈 P 偏振的可见全谱线氩激光束经一焦距为 150.0mm 的双凸透镜聚焦在钛宝石激光棒中; 腔内插入一个由厚度比为 4:1:16 的三片石英双折射滤光片复合成的波长调谐器来选择运转波长。(见图 1)

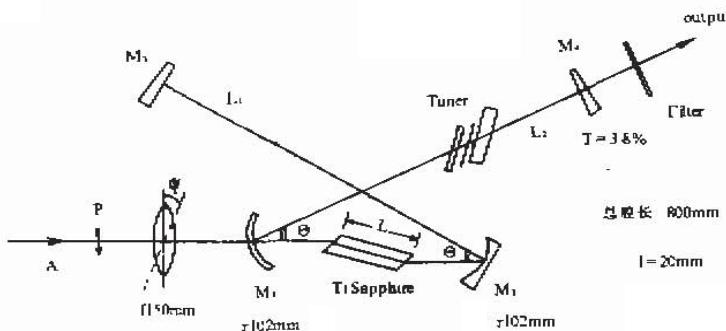


图 1

腔折叠角 $\theta \sim 31^\circ$ 时, 腔模的像散问题基本得到解决^[2]。腔模的腰斑在子午面和弧矢面内基本重合, 且处于钛宝石激光棒的中心, 半径约 $20\mu\text{m}$; 子午面和弧矢面内腔的稳区也最大限度地重合, 即腔的实际稳定区最大(参见文献[2]的图 5)。

2 泵浦光束的像散及补偿

在前述连续钛宝石激光系统中, 泵浦光束正入射到聚光透镜上, 被汇聚到钛宝石激光棒中。泵浦光束是以近布氏角入射到钛宝石激光棒上的, 因而也存在像散问题, 使得钛宝石激光棒前的圆对称高斯光束(泵浦光束)变换为棒中的椭圆高斯光束, 且其腰斑在子午面和弧矢面内分离; 使得腔模与泵浦光束在钛宝石激光棒内不易匹配, 而且容易激发高阶横模。

氩激光的全角发散角为 1mrad , 投射在聚光透镜上的光斑直径约 2.6mm , 波面曲率半径 $R \sim 6750\text{mm}$ 。由下式可得到泵浦光束在聚光透镜前的 q 参数:

$$\frac{1}{q_0} = \frac{1}{R} - i \cdot \frac{\lambda}{\pi \omega^2}$$

为了处理问题方便起见, 本文选取波长 $\lambda \sim 514.5\text{nm}$ 来讨论; 因为可见全谱线输出的氩激光 $457.9 \sim 528.7\text{nm}$ 的几条谱线中 514.5nm 谱线最强, 对泵浦的贡献最大。

正入射的薄透镜其传输矩阵为:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f} & 1 \end{pmatrix}$$

以布氏角入射的钛宝石激光棒的传输矩阵为^[8]:

$$\text{子午面 (T)} \quad \begin{pmatrix} 1 & \frac{t\sqrt{n^2+1}/n^4}{1} \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\text{弧矢面 (S)} \quad \begin{pmatrix} 1 & \frac{t\sqrt{n^2+1}/n^2}{1} \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

式中 $t = l \sin \theta_b$, $l = 20\text{mm}$, $\theta_b = \arctg n$, $n = 1.773$ (对 514.5nm)。

输入镜 M1 的焦距很长, 远大于 1m , 对于泵浦光束的变换作用极小, 在讨论泵浦光束的传输问题时可以略去。这样即可由泵浦光束的 q 参数和聚焦透镜、自由空间及钛宝石激光棒的传输矩阵, 利用高斯光束 q 参数的矩阵变换规律:

$$q = \frac{A \cdot q_0 + B}{C \cdot q_0 + D}$$

求得钛宝石激光棒中子午面和弧矢面内泵浦光束的 q 参数, 进而求得棒中各处的光束参数。建立如图 2 所示的坐标系, 计算结果见图 3。聚焦透镜距钛宝石激光棒中心 150mm ; 结果显示: 当泵浦光束正入射到聚焦透镜上时 钛宝石激光棒中泵浦光束腰斑在子午面和弧矢面内分离, 泵浦光束的像散较为严重。

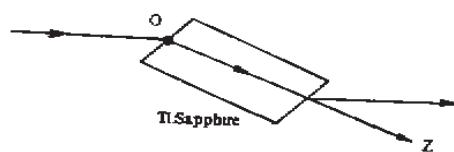
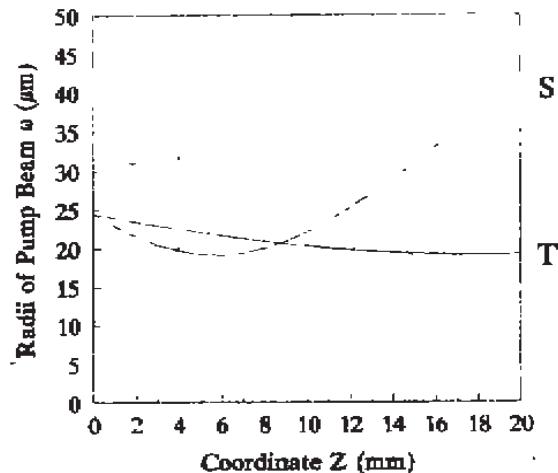


图 2



Note: $\psi = 0^\circ$

图 3

当聚焦透镜倾斜一个角度 ψ 时, 可预先对泵浦光束造成像散, 从而可补偿泵浦光束由双布氏角切割宝石激光棒引起的像散。此时聚焦透镜的传输矩阵为¹⁹:

子午面 (T)

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{\cos\psi}{f} & 1 \end{pmatrix}$$

弧矢面 (S)

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f \cdot \cos\psi} & 1 \end{pmatrix}$$

用同前类似的方法,当 $\psi \sim 9^\circ$ 时的结果见图4。钛宝石激光棒中泵浦光束的腰斑在子午面和弧面内基本重合于棒中心,半径约为 $19\mu\text{m}$ 。泵浦光束的像散问题即基本上得到解决,并可与腔模在空间上匹配,在钛宝石激光棒内形成合适的增益孔径,将腔模限制在单横模状态。

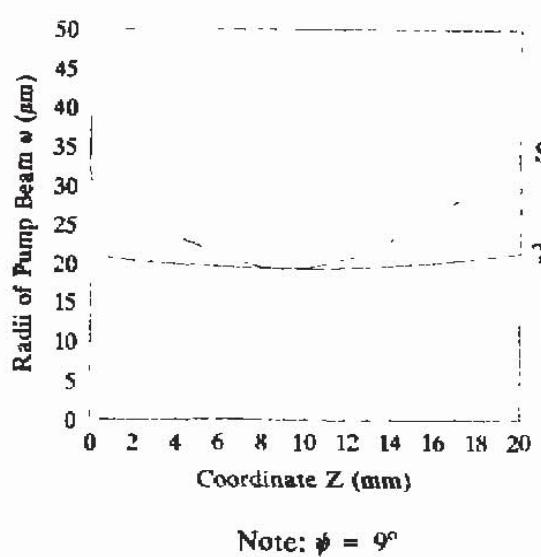


图 4

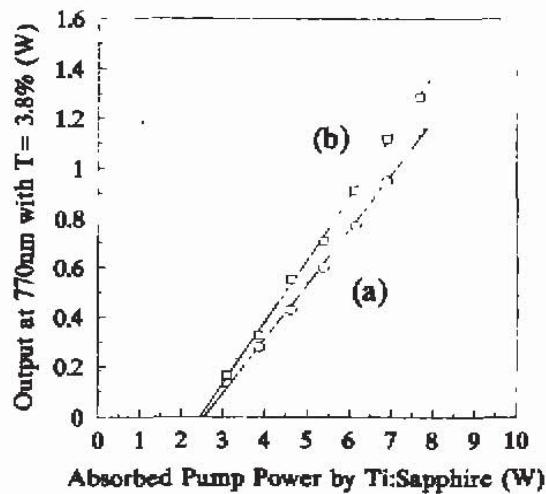


图 5

3 实验及结果

泵浦光束正入射到聚焦透镜的情况下,在波长 770nm 处,采用输出耦合透射率 $T=3.8\%$ 的输出镜,测得的输入输出关系见图5中曲线(a);而当聚焦透镜倾斜角 $\psi \sim 9^\circ$ 时,在同一波长、同一输出耦合透射率下,测得的结果见图5中曲线(b)。图中横坐标已由氩离子激光器输出功率换算为被钛宝石激光棒所吸收的泵浦功率,纵坐标也已扣除滤光片的透射率。实验中,泵浦光源为 Spectra-Physics 2030-20 型氩离子激光器;钛宝石激光波长由 WDG-30 型光栅单色仪测定;激光功率则由 Coherent 201 型激光功率计测定。

当泵浦光束的像散基本得到补偿时,腔模和泵浦光束在钛宝石激光棒内可以尽量匹配,泵浦阈值功率由 2.6W 降低至了 2.5W ,斜坡效率则由 21.9% 增至了 24.8% 。

对于采用球面反射镜对泵浦光束反射聚焦的情形,也可由类似的讨论求得聚焦球面反射镜合适的倾斜角(亦即入射角),以解决泵浦光束的像散问题,从而降低泵浦阈值,提高转换效率。

参 考 文 献

- 1 刘玉璞, 张影华, 陆培华. 连续可调谐钛宝石激光器的实验研究. 中国激光, 1993, A20(2):85 ~ 88
- 2 王军民, 李瑞宁, 梁晓燕, 谢常德, 彭望輝. 四镜折叠腔波长可调谐连续 Ti:Al₂O₃ 激光器. 激光与红外, 1993, 23(4): 27 ~ 30
- 3 Peter A Schulz. Single-frequency Ti:Al₂O₃ ring laser. IEEE Journal of Quantum Electronics, 1988, 24(6): 1039 ~ 1044
- 4 Boyd T L, H J Kimble. Frequency stabilization of a cw Ti: sapphire laser. Optical letters, 1991, 26(11): 808 ~ 833
- 5 Harrison James, Andrew Finch, David Rines M et al. Low-threshold, cw, all-solid state Ti: Al₂O₃ laser. Optics Letters, 1991, 16(8): 581 ~ 583
- 6 Kogelnik H W, E P Ippen, A Dienes, et al. Astigmatically compensated cavities for cw dye lasers. IEEE Journal of Quantum Electronics, 1972, QE-8(3):373 ~ 461
- 7 王兴龙, 李昱等. Method of astigmatic compensation and stability regions of folded or ring cavity. 中国激光(英文版), 1992, B1(1):37 ~ 42
- 8 卢亚雄, 吕百达. 矩阵光学. 大连: 大连理工大学出版社, 1989.179
- 9 同 8, 175

ASTIGMATIC COMPENSATION OF THE PUMP BEAM IN A CW TI:SAPPHIRE LASER PUMPED BY AN ARGON LASER

Wang Junmin Li Ruining

(Institute of Opto-Electronics, Shanxi University)

Abstract

Astigmatic compensation of the pump beam of an argon laser pumped cw Ti:sapphire laser was discussed with q parameters of Gauss beam and transformation matrixes. Slope efficiency of the Ti: sapphire laser increased from 21.9% to 24.8 with astigmatically compensated pump beam in the experiment.

Key words cw Ti: sapphire laser, astigmatic compensation, pump beam

Classification Code of Chinese Literatures TN 248.1