

LD 泵浦准连续运转 Cr : LiSAF 激光器 谐振腔的设计与实验研究^{*}

毛艳丽 阮双琛 侯 洵

(中国科学院西安光学精密机械研究所瞬态光学技术研究室, 西安 710068)

摘 要 本文从理论上叙述了半导体泵浦的准连续运转 Cr:LiSAF 激光器三镜折叠腔的腔型设计, 并从实验上实现了准连续运转, 在泵浦平均功率为 12mW 时, 得到激光振荡, 斜率效率达 15%.

关键词 象散补偿; 半导体激光器; Cr : LiSAF

0 引言

掺铬的六氟铝酸铽锂(简称 Cr:LiSAF)是继钛宝石之后又一性能优异的固体激光材料, A. Payne 于 1989 年首次报道了这种晶体的激光特性¹. 它具有更宽的吸收谱带、更长的上能级寿命和足够的发射截面等优势, 且在红光区域有吸收, 适于用红光半导体激光器直接泵浦. 而用激光二极管作为泵浦源组成的固体激光器具有结构紧凑、可靠性高、重量轻、寿命长等优点, 并在科研、军事、医疗、通讯等方面有广泛的用途.

本文报道了半导体泵浦的准连续运转 Cr : LiSAF 激光器腔的设计和实验结果.

1 腔型设计

激光器的折叠腔与直腔式结构相比可以产生比较细的光腰, 有效的降低阈值, 提高激光器对泵浦光的利用效率, 从而提高输出功率. 实验中我们采用了三镜折叠腔, 腔型结构如图 1 所示, 晶体一端以布氏角切割, 另一端为平面, 平面端镀双色膜, 对产生的激光全反, 作为一平面腔, M_2 为凹面镜, M_3 为平面输出镜.

1.1 象散的补偿

三镜折叠腔的象散主要来源于布氏角切割的晶体和光束在 M_2 处的斜入射. 这里我们根据光在腔内往返一周的传输矩阵和到达稳定时的自洽条件, 运用数值分析的方法计算在镜 M_2 处的补偿角 θ .

设晶体的折射率为 n , 晶体的长度为 H , 它在子午面和弧矢面的变换矩阵² 为

$$M_{1t} = \begin{bmatrix} 1 & (n^2 + 1)^{1/2} H / n^4 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$M_{1s} = \begin{bmatrix} 1 & (n^2 + 1)^{1/2} H / n^2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

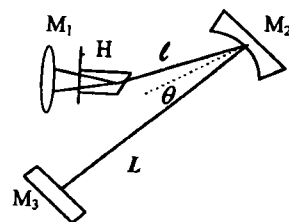


图 1 三镜折叠腔的光路图
Fig. 1 Schematic diagram of the
threemirror cavity

• 中国科学院院长基金资助项目

收稿日期: 1997-03-10

下标 t, s 分别表示子午面与弧矢面.

凹面镜 M_2 对光束的反射在子午面与弧矢面内的变换矩阵³ 为

$$M_{2t} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -2/R \cos \theta & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$M_{2s} = \begin{bmatrix} 1 & \\ -2 \cos \theta / R & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中的 R 为凹面镜 M_2 的曲率半径.

以输出镜 M_3 为参考面, 写出谐振腔的往返矩阵

$$\begin{aligned} M_t &= \begin{bmatrix} A_t & B_t \\ C_t & D_t \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 1 & L \\ 0 & 1 \end{bmatrix} M_{2t} \begin{bmatrix} 1 & l \\ 0 & 1 \end{bmatrix} M_{1t} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} M_{1t} \begin{bmatrix} 1 & l \\ 0 & 1 \end{bmatrix} M_{2t} \begin{bmatrix} 1 & L \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} M_s &= \begin{bmatrix} A_s & B_s \\ C_s & D_s \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 1 & L \\ 0 & 1 \end{bmatrix} M_{2s} \begin{bmatrix} 1 & l \\ 0 & 1 \end{bmatrix} M_{1s} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} M_{1s} \begin{bmatrix} 1 & l \\ 0 & 1 \end{bmatrix} M_{2s} \begin{bmatrix} 1 & L \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (6)$$

以上矩阵相乘得 $A_i, B_i, C_i, D_i (i=t, s)$. 由高斯光束 q_i 参数⁴ 有

$$\frac{1}{q_i} = \frac{D_i - A_i}{2B_i} \mp j \frac{\sqrt{1 - ((A_i + D_i)/2)^2}}{B_i} = \frac{1}{r_i} - j \frac{\lambda}{\pi \omega_i^2} \quad (7)$$

则高斯光束的等相位曲率半径和光斑半径为

$$r_i = 2B_i / (D_i - A_i) \quad (8)$$

$$\omega_i = (\lambda |B_i|)^{1/2} \pi^{-1/2} \{1 - [(A_i + D_i)/2]^2\}^{-1/4} \quad (9)$$

当子午面与弧矢面的等相位曲率半径和光斑半径分别相等时, 即

$$r_t = r_s \quad (10)$$

$$\omega_t = \omega_s \quad (11)$$

此时就实现了象散补偿, 输出光束为均匀的圆斑. 在计算中给出参数, 并利用谐振腔的稳态振荡条件

$$|G_i| = \left| \frac{A_i + D_i}{2} \right| \leq 1 \quad (12)$$

就可求出补偿角 θ .

1.2 稳区的分析

利用稳态振荡条件式(12), 我们可以做出此三镜腔的稳区图, 从而分析选择出合适的腔参数. 在实际实验中, 晶体的棒长 H 和镜 M_2 的曲率半径都是给定的, 短臂 l 和补偿角是可调整量, 而且对稳区的影响较大, 因此我们以 l 和 θ 为坐标做稳区图. 如图 2 所示: 图中阴影部分是稳区范围, 从图(a)、(b)、(c)中可以看到稳区范围随镜 M_2 的曲率半径 R 的变化趋势: R 越大, 稳区范围越大, 对应稳区的 l 值也越大, 由此我们可选用曲率半径 R 偏大的凹面镜, 但 R 越大, 腔模束腰就越大, 从而导致泵浦阈值的提高, 不利于激光器最佳运转, R 小一些, 可减小腔模束腰、降低阈值, 但稳区范围同时也变小. 另外, 较小的腔模束腰也要求泵浦光斑较小, 但对半导体激光器来说, 发散角都较大, 不易准直, 经聚焦后的光斑不易达到很小, 所以必须选择合适的 R . 即要考虑泵浦光束的最佳模式匹配, 最佳运转, 又要考虑稳区的大小, 以免在调整光路时过于困难. 图(a)、(d)、(e)是在曲率半径 R 一定, 长臂 L 变化的情况下所做稳区图, 其变化趋势是 L 越大, 稳区范围越小, 但 l 只在很小的范围内变动. 实验中长臂的确定即要考虑稳区的大小, 不宜过长, 又要考虑其它元件的加入, 不宜过短.

对应稳区内参数工作的谐振腔并不是都能实现象散补偿, 只有某些点对应的参数能够实现象散补偿. 要使谐振腔的输出光束能够达到象散补偿, 又要工作在稳区中心, 必须从实现象散补偿的点中选择 $|G_t|, |G_s|$ 都接近零的点. 表 1 是图 2(a)对应稳区内能够实现象散补偿的参数.

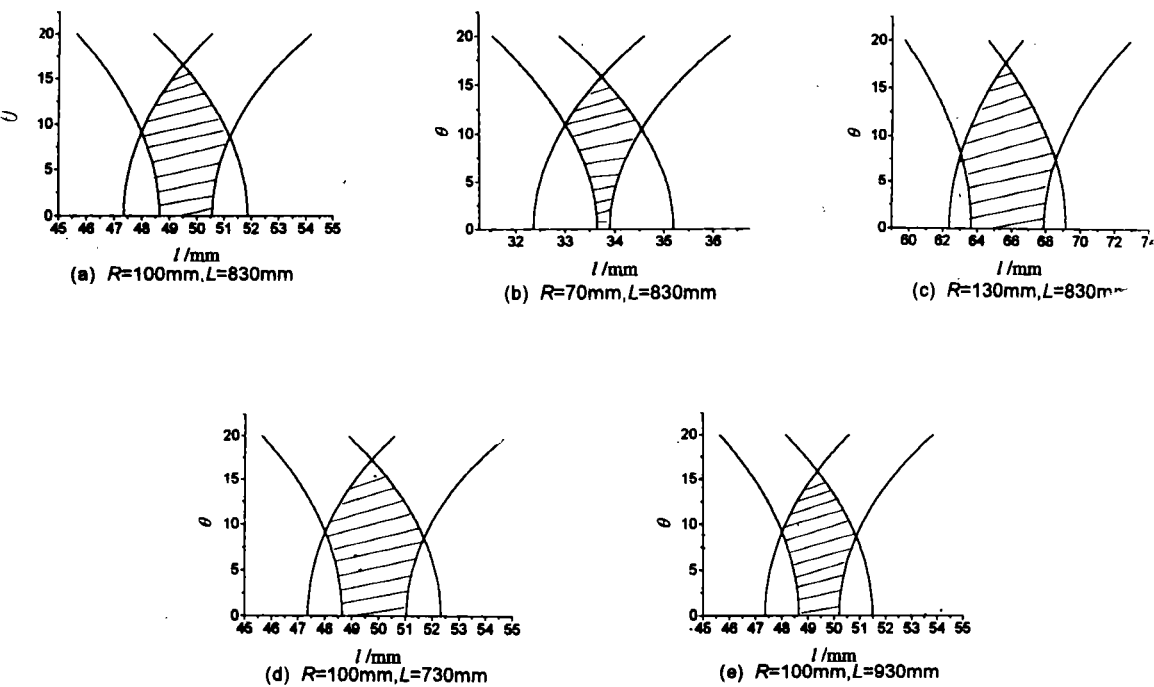


图 2 三镜折叠腔的稳区图
Fig. 2 Stability region of the folded 3-mirror cavity

表 1 稳区内实现象散补偿的腔参数

	(mm)	θ°	$\omega_s(\mu\text{m})$	$\omega_t(\mu\text{m})$	G_s	G_t
1	49.0	9.0	562.8	562.7	-0.382	-0.382
2	49.5	8.9	476.7	477.0	-0.068	-0.068
3	49.6	8.9	462.5	462.0	0.008	0.008
4	50.2	8.8	380.9	380.0	0.367	0.367
5	50.7	8.7	306.5	305.9	0.680	0.680

从表中可以看出第(2)、(3)组比较靠近稳区中心,且能较好的实现象散补偿.

2 数值计算及实验结果

根据以上原则和方法,通过计算分析,就可确定谐振腔的各个参数.

实验中,我们采用的 Cr : LiSAF 晶体棒尺寸为 $\varnothing 6\times 3\text{mm}$,掺杂浓度 5.5%;晶体一端为平面,另一端为布氏角切割,平面一端镀双色膜,对 800~900nm 光辐射全反,在 670nm 的透过率为 95%, M_2 镜为 $R=100\text{mm}$ 的全反镜, M_3 是平面输出镜,对 800~900nm 的光辐射反射率为 99.9%. 我们选定长臂为 830mm,以短臂 l 为循环变量求

得满足条件的各点参数见表 1,在最佳运转下,象散补偿角为 8.9°,短臂为 49.5mm, M_3 处的输出光束在子午面和弧矢面内的光斑半径相差 0.3 μm ,基本上实现了象散补偿. 实验中,我们仔细调节各个元件,在此参数下实现了准连续运转. 半导体激光器工作波长 670nm,其重复频率为 300Hz,脉宽 150 μs ,在泵

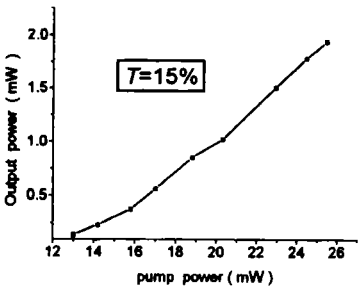


图 3 输出功率随泵浦功率的变化
Fig. 3 Output power versus pumping power

浦平均功率为 12mW 时,形成激光振荡,当泵浦平均功率达 26mW 时,输出激光超过 2mW,滤掉红光后,测得输入-输出曲线如图 3 所示,斜率效率达 15%.

参考文献

- 1 Payne S A, Chase L L, Smith L K, et al. JAP, 1989, 66(3): 1051~1056
- 2 卢亚雄, 吕百达. 矩阵光学. 大连理工大学出版社, 1989: 170~180
- 3 Kogelnik H W, Ippen E P, Dienes A, Shank C V. IEEE J Quantum Electron, 1972, QE-8(3): 373~379
- 4 陈钰清, 王静环. 激光原理. 杭州: 浙江大学出版社, 1992: 88~213

DESIGN AND EXPERIMENTAL STUDY OF RESONATORS FOR THE LD PUMPED Q-CW Cr : LiSAF LASER

Mao Yanli, Ruan Shuangchen, Hou Xun

State Key Lab. of Transient Optics Technology, Xi'an Institute of Optics and
Precision Mechanics, Academia Sinica 710068

Received date: 1997-03-10

Abstract The design of the folded threemirror cavity for the LD pumped Q - CW Cr : LiSAF is described, and the quasi continuous wave operation was achieved in our experiment. We have obtained laser oscillation when the average pump power was 12mW with pulse rate of 300Hz and pulse width of 150 μ s at 670nm. The output power was more than 2mW under the average pump power was 26mW. The slope efficiency is 15%.

Keywords Astigmatic compensation, Diode laser, Cr : LiSAF

Mao Yanli was born in 1972 in Henan, and graduated from Henan University in 1995. Since then, she has been a graduate student in Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Academia Sinica. She is mainly engaged in the generation of ultrashort laser pulse from solid state lasers.

