

# 用液晶透镜改进的望远镜腔激光器性能分析

于全芝 李国华

(曲阜师范大学激光研究所, 曲阜, 273165)

**摘要:** 借助于普通望远镜腔激光器的结构及其性能, 利用液晶透镜的调焦、选模特性, 提出了构造液晶望远镜腔激光器的设想, 并从理论上验证了其存在的可能性, 最后分析了该类型激光器的显著优点。

**关键词:** 液晶透镜 基模选模 选频

## Functional analysis of liquid crystal lens improved the laser with telescope

Yu Quanzhi, Li Guohua

(Laser Institute, Qufu Normal University, Qufu, 273165)

**Abstract:** Based on general feature of the telescope resonator laser and the focusing and mode-selection properties of a liquid crystal lens, a conception of liquid crystal telescope laser is put forward. The possibility of this kind of laser is analyzed in theory. Its excellent characteristics are introduced in the end.

**Key words:** liquid crystal lens basis-mode selection frequency selection

## 引 言

随着激光技术在各个领域的广泛应用, 人们对激光束的质量提出了越来越高的要求。而一般的激光器难以满足实际应用中的各种不同需要, 往往需要对激光束进行诸如调频、选模等

实验所制作的微透镜阵列有较好的抗潮性能, 放置通常环境半年后再进行测试, 其表面轮廓没有变化, 光学性能也依然良好。

## 4 结 论

我们利用重铬酸铵明胶为材料、蛋白酶溶液为显影剂成功制作了微透镜阵列。讨论了重铬酸铵明胶的交联及蚀蚀原理, 显示了用明胶作为微光刻材料, 通过酶蚀方法制作连续浮雕结构的微光学元件的巨大潜力。

### 参 考 文 献

- 1 Veldkamp W B, Leger J R, Swanson G J. Proc SPIE, 1991; 1544: 287~ 299
- 2 Meyerhofer D. Appl Opt, 1971; 10(2): 416~ 421
- 3 Ahlhorn T, Gnadin K, Kreye H. Proc. SUN/Fin' 93, Anaheim USA, 1993: 623~ 630
- 4 Herman K, Gerngross O. Physik Chem, 1930; B10: 371
- 5 唐继跃, 王科太, 郭履容 *et al.* 光学学报, 1997; 17(1): 53~ 57

\* \* \*

作者简介: 姚 军, 男, 1973 年出生。博士研究生。现主要从事微光学及其器件方面的研究。

特别处理。我们借鉴普通望远镜腔激光器的结构及其性能,利用液晶透镜的调焦、选模特性,提出了构造液晶望远镜腔激光器的设想,并从理论上验证了其存在的可能性,最后分析了该类型激光器的显著优点,这是一般激光器所不能比拟的。

## 1 理论分析

### 1.1 单横模选择原理及方法

激光振荡的横模选择,其实质是通过控制谐振腔的各阶横模的振荡阈值,促使激光器处于单横模(TEM<sub>00</sub>)状态运转<sup>[1~3]</sup>。设谐振腔两端面反射镜的反射率分别为  $r_1, r_2$ , 单程增益系数为  $G$ , 单程损耗为  $\delta$ , 工作物质长为  $l$ , 则光在谐振腔内往返一次的光强变为:  $I_1 = I_0 r_1 r_2 (1 - \delta)^2 e^{2Gl}$ 。若将TEM<sub>00</sub>的损耗记作  $\delta_{00}$ , 相邻高阶模TEM<sub>10</sub>损耗为  $\delta_{10}$ , 在增益相同的情况下,使之满足:  $r_1 r_2 (1 - \delta_{00})^2 > 1, r_1 r_2 (1 - \delta_{10})^2 < 1$ , 则激光器仅能使TEM<sub>00</sub>模满足振荡阈值条件,TEM<sub>10</sub>受到抑制。一般地,横模阶数越高,则损耗  $\delta$  越大,故其它高阶模也不会起振。

在激光器内,激光振荡得以建立的条件为  $G > \delta_0$ 。而  $\delta = \delta_i + \delta_m + \delta_d$ , 其中,  $\delta_i$  为光束通过增益介质时的损耗,  $\delta_m$  为激光束在谐振腔镜面上由透射、散射和吸收等因素而产生的损耗,  $\delta_d$  为腔内孔径造成的衍射损耗。介质的增益系数  $G$ 、内部损耗  $\delta_i$  和谐振腔镜片上的损耗  $\delta_m$  对各阶模式都有相同的数值,唯一不同的是衍射损耗  $\delta_d$ , 由此可通过控制各阶模式的衍射损耗来达到选取横模的目的。考虑到基模选模的综合因素,应该做到(高阶模以TEM<sub>10</sub>为例): (1) 尽量增大基模的模体积,以增大增益系数  $G$ ; (2) 尽量增大高阶模与基模的衍射损耗比  $\delta_{1d} : \delta_{0d}$ , 以确保单模起振; (3) 尽量减小激活介质及腔内光学元件的内部损耗  $\delta_i$  及腔镜损耗  $\delta_m$ , 从而相对增大衍射损耗  $\delta_d$  在总损耗中的比例,即增大  $\delta_d : \delta$  的值,以便通过控制衍射损耗  $\delta_d$  拉开各阶模总损耗之间的距离,保证单模输出。

## 2 液晶望远镜腔激光器

### 2.1 液晶透镜的结构及其工作原理

图1为液晶透镜的示意图,向列型液晶为单轴晶体,其光轴与液晶分子长轴一致,可以通过光电效应来控制其双折射性质。未加电压时,由于光的行进方向与液晶光轴即分子长轴一致,  $n_e = n_o$ , 则  $f_e = f_o$ ; 当外加电压超过阈值电压时,分子发生旋转,设分子长轴与电极面的倾斜角为  $\varphi$ , 此时晶体折射率发生了变化,从而使液晶透镜的焦距发生了变化,有  $f_e < f(\varphi) < f_o$ 。连续调节电压值,可使  $\varphi$  发生连续改变,导致液晶透镜的焦距发生相应的变化,实现调焦功能。这里还利用了液晶透镜的其它优点<sup>[4]</sup>: (1) 驱动电压低,在1~3V即可实现完全调焦; (2) 耗电少,每1cm<sup>2</sup>耗电约为  $\mu W$  数量级,因此,可以忽略其热电效应; (3) 体积小,制作简便,费用低。

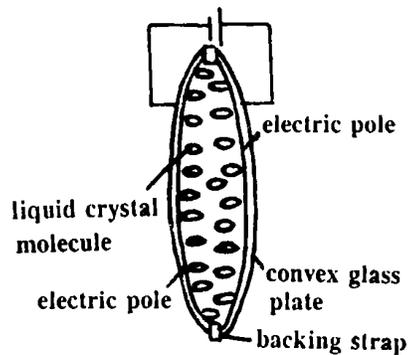


Fig. 1 Liquid crystal lens general view

### 2.2 液晶望远镜腔激光器的结构与工作原理

用液晶透镜改进的望远镜腔激光器结构如图2a所示。其中液晶透镜L<sub>1</sub>为物镜,它的焦距在  $f_e$  与  $f_o$  之间连续可调; L<sub>2</sub> 为短焦距目镜,它的位置可以平行调节。

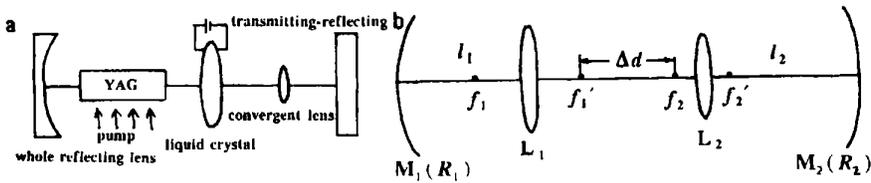


Fig. 2 Laser general view

在谐振腔内插入液晶望远镜后仍为稳定腔。其结构可用球面腔示意图 2b 表示。证明如下。设腔内光学元件的传输矩阵为  $\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$ ,  $\Delta d$  为透镜  $L_1$  与  $L_2$  的焦点之间的离焦量,  $f_1$  与  $f_2$  分别为其焦距, 则:

$$\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & l_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/f_2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & f_1 + f_2 + \Delta d \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/f_1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & l_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{f_2}{f_1} (1 + \Delta d \frac{f_2 - f_1}{f_2^2}) & f_1 f_2 (\frac{f_1 - l_1}{f_1^2} + \frac{f_2 - l_2}{f_2^2} + \Delta d \frac{f_1 - l_1}{f_1^2} \frac{f_2 - l_2}{f_2^2}) \\ \frac{\Delta d}{f_1 f_2} & -\frac{f_1}{f_2} (1 + \Delta d \frac{f_1 l_1}{f_1^2}) \end{bmatrix}$$

此腔的  $g$  参数为<sup>[2]</sup>:

$$g_1 = a - \frac{b}{R_1} = -\frac{(f_2 - l_2)(f_1 + R_1 - l_1)}{f_1 f_2 R_1} (\Delta d + \frac{f_1^2}{f_1 + R_1 - l_1} + \frac{f_2^2}{f_2 - l_2})$$

$$g_2 = d - \frac{b}{R_2} = -\frac{(f_1 - l_1)(f_2 + R_2 - l_2)}{f_1 f_2 R_2} (\Delta d + \frac{f_2^2}{f_2 + R_2 - l_2} + \frac{f_1^2}{f_1 - l_1})$$

可验证  $g_1, g_2$  满足稳定性条件:  $0 \leq g_1 g_2 \leq 1$ 。

特殊地, 当谐振腔两端面反射镜为平面反射时, 有  $R_1 = R_2 = \infty$ , 则:

$$g_1 = a - b/R_1 = -f_2 [1 + \Delta d(f_2 - l_2)/f_2^2]/f_1$$

$$g_2 = d - b/R_2 = -f_1 [1 + \Delta d(f_1 - l_1)/f_1^2]/f_2$$

当  $\Delta d = 0$  时, 即  $L_1, L_2$  严格地构成望远镜条件时, 有:

$$g_1 = -f_2/f_1, g_2 = -f_1/f_2$$

$$\text{故 } g_1 g_2 = 1$$

此时平行平面腔仍为介稳腔。

由上述可知, 在谐振腔内插入液晶望远镜, 不影响腔的稳定性。

当光泵浦工作物质 YAG 实现粒子数反转, 并使增益  $G$  满足振荡条件时, 则有激光输出。

### 2.3 液晶望远镜腔激光器的工作特点

2.3.1 基模选模能力加强 (1) 由传输矩阵推导所得的谐振腔等效腔拉长, 从而使腔的菲涅耳数  $N = a^2/(l\lambda)$  减小, 致使衍射损耗  $\delta_d = 1/N$  增大, 而且相对于普通望远镜来说, 在传输过程中由液晶透镜引起的内部损耗  $\delta_i$  减小, 满足基模选择方式(3)。(2) 由于腔中望远镜的目镜  $L_2$  的焦距  $f_2$  很短, 对高斯光束有着强烈的会聚(或发散)作用, 致使各阶横模的发散角扩大  $M$  倍( $M$  为望远镜的视角放大率  $M = f_2/f_1$ ), 而 TEM<sub>00</sub> 模的发散角最小, 如果工作物质口径与基模光斑相当, 则高阶模的光斑会由于溢出工作物质而使其衍射损耗增大, 满足基模选择方

式(2)。(3)在腔内插入望远镜后,由于望远镜的扩束作用,腔内高斯光束在通过工作物质模体积扩大了  $M^2$  倍,这样,在(1),(2)的基础上又增大了基模体积,从而使基模增益  $G_0$  增大,满足基模选择方式(1)。

2.3.2 激光输出能量增大 由上分析可知,改进的液晶望远镜腔激光器较之普通望远镜腔激光器具有更小的腔内损耗和更大模体积的基模输出,从而使基模光束振荡加强,提高了激光的能量输出,功率变大。

2.3.3 选频输出 由于液晶透镜的可调焦性,当改变加在它上面的电压值时,可使液晶透镜的焦距在  $f_{1e}$  与  $f_{1o}$  之间连续可调,由于 YAG 为四能级系统,频率不同的基模高斯光束发生会聚(图3),产生大小不同的束腰<sup>[1]</sup>,适当调节目镜  $L_2$ ,使之处于某一频率(设为  $\nu_0$ )的高斯光束经液晶透镜  $L_1$  所产生的腰斑半径  $w_0$  所在处,即  $L_2$  与某一电压下液晶透镜的焦点  $f_1$  相重合。

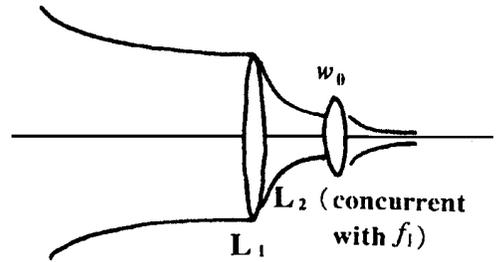


Fig. 3 Gaussian beam transferred graph

这样,由于透镜  $L_2$  对高斯光束的会聚作用,使该频率的高斯光束振荡加强而输出激光;而其它频率的高斯光束经过液晶透镜所产生的腰斑半径  $w'_0$  不处在  $L_2$  所在的位置,则  $L_2$  对它们的会聚作用不如前者明显,因此,它们在谐振腔中的往返传输过程中,会因与频率为  $\nu_0$  的高斯光束竞争而被削弱。当改变液晶透镜的电压值并相应地调节目镜的位置时,同样,也可以使另一频率的光束振荡加强,以输出该频率的激光。即通过方便地控制液晶透镜的电压值和平行移动目镜  $L_2$  实现激光的选频输出,这是液晶望远镜透镜腔激光器的主要优点所在。

2.3.4 热透镜效应的补偿 同样,由于液晶透镜  $L_1$  的可调焦性能和目镜  $L_2$  位置的可移动性,与普通望远镜腔激光器相比,它可以更方便地调整其离焦量  $\Delta d$ <sup>[5]</sup>,使  $\Delta d$  达到最佳值,从而补偿器件在重复频率时工作物质热透效应引起的波面畸变。

### 3 讨 论

从以上理论分析可以看出,用液晶透镜改进的望远镜腔激光器与普通望远镜腔激光器相比,除了基模选模能力加强、输出功率增大、热透镜效应得到补偿外,还可以实现激光选频,输出 YAG 工作物质在四能级跃迁过程中产生的各个波长的激光,可以更方便地满足实际应用中的不同需要。

#### 参 考 文 献

- 1 周炳琨,高以智,陈家骅 *et al.* 激光原理.第1版,北京:国防工业出版社,1984
- 2 龙槐生,张仲先,谈恒英 *et al.* 光的偏振及其应用.第1版,重庆:机械工业出版社,1989
- 3 俞宽新,江铁良,赵启大 *et al.* 激光原理与激光技术.第1版,北京:北京工业大学出版社,1998
- 4 庞岩涛.调谐滤光片的设计与研究.曲阜师范大学硕士毕业论文,2000
- 5 徐荣甫.激光器件与技术教程.第1版,北京:北京工业学院出版社,1986

作者简介:于全芝,女,1976年出生。研究生。主要从事激光偏光理论与偏光器件设计的研究工作。

收稿日期:2000-07-14 收到修改稿日期:2000-09-11