

组合短腔单频 Cr:LiSAF 激光器的理论与实验研究^{*}

韩海年 阮双琛^{*} 侯 洵^{*} 刘玉华^{**}

(西北大学光子学与光子技术研究所, 西安 710069)

(中国科学院西安光学精密机械研究所瞬态光学技术国家重点实验室, 西安 710068^{*})

(佛山大学物理系, 佛山 528000^{**})

摘 要 分析了一种特殊设计的组合短腔 Cr:LiSAF 激光器实现单频运转的工作原理, 并在此基础上与实验进行详细的比较. 当两个掺杂浓度及所镀介质膜都完全相同的薄片 Cr:LiSAF 晶体谐振腔长分别取为 500 μm 和 1000 μm , 中间夹的石英厚度为 130 μm 时, 实验得到了线宽 $< 0.12\text{nm}$ 的单频激光, 理论线宽为 0.02nm.

关键词 组合短腔 Cr:LiSAF 激光器; 单频

0 引言

微片短腔固体激光器实现单频运转的原理主要是利用足够短的腔长, 使谐振腔内振荡的纵模间隔大于增益介质的有效增益带宽, 从而只剩一个纵模能够在有效增益内振荡. 1989年¹, J. J. Zayhowki 等人首先将这一技术用于 Nd:AG 激光介质中, 当腔长缩短到 730 μm 时, 在室温下得到了线宽小于 5kHz 的单频激光输出. 此后, 随着半导体激光器性能的日益提高及成本的日益降低, 用二极管泵浦的微片短腔固体激光器越来越受到人们重视.

Cr:LiSAF 晶体具有宽的荧光带宽(780nm ~ 1000nm), 较大的增益截面($5 \times 10^{-20}\text{cm}^2$) 以及长的荧光寿命(67 μs), 因而是一种很有吸引力的宽调谐激光材料. 但要用微片短腔法实现 Cr:LiSAF 激光器单频运转非常困难, 因为 Cr:LiSAF 的增益带宽一般为 220nm, 即使腔长缩短到 500 μm , 仍有几百个纵模可以振荡, 所以简单地用一片 Cr:LiSAF 晶体薄片是不可能单频输出的². 作者曾在文献³中报道了一种特殊设计的组合短腔 Cr:LiSAF 激光器, 很好地实现

了单频运转, 且激光线宽 $< 0.12\text{nm}$. 本文着重在理论上分析这种单频激光器的工作原理, 并比较讨论了理论与实验的结果.

1 基本原理

文献³中所采用的设计方案如图1所示, 我们再来分析其工作原理.

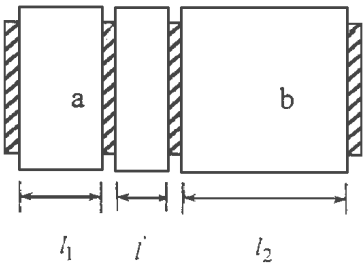


图1 组合短腔单频 Cr:LiSAF 激光器原理图

Fig. 1 Principle of the composite cavity, single-frequency Cr:LiSAF micro-laser

其中 a 与 b 是两个性质完全相同的 Cr:LiSAF 晶体薄片, 只是厚度不同, 薄片两面直接

^{*} 中国科学院百人计划资助项目
中国知网 <http://www.cnki.net>
收稿日期: 1998-08-11

抛光镀膜作为腔镜,构成两个平行平面短腔激光器,中间用一块石英晶体隔开.由于反射膜的作用,a、b 两腔间会发生多光束干涉,石英晶体就充当了一个 F-P 标准具,对选模起了很大作用.

这种组合腔要选出单纵模来,不但与谐振腔 a、b 的腔长有关,而且与 F-P 标准具的厚度,即 a、b 两腔间的间距也有关.

假设波长为 λ 的模在组合腔内能产生振荡,它就必须满足以下条件:

1) 在谐振腔 a 内能振荡,即满足 a 腔的定波条件;2) 在 F-P 标准具中的透射率最大,即满足使透射率最大的相位关系;3) 在谐振腔 b 内能振荡,即满足 b 腔的驻波条件.

为了简化以上条件,我们假设 b 腔的腔长为 a 腔的整数倍,即 $l_2 = nl_1$,根据满足谐振腔内驻波振荡的分立纵模频率公式 $v_q = qc/(2\eta)$,可知,在 a 腔中能起振的激光波长在 b 腔中都能振荡,但在 b 腔中振荡的波长每隔 $(n-1)$ 个才能在 a 腔中振荡.所以再考虑以上三个条件时,只要满足条件 1)、2) 就可以了.

我们可写出条件 1)、2) 的表示式

$$p(\lambda/2) = \eta_1 \tag{1}$$

$$q(\lambda/2) = \eta_1' \tag{2}$$

式中 p 为 a 腔内 λ 对应的定波数, q 为 F-P 标准具内对应的干涉数, η 和 η' 分别表示 Cr:LiSAF 晶体和石英的折射率.

若对增益曲线内另一波长 λ 也能形成激光振荡,则有

$$(p \pm j)(\lambda/2) = \eta_1 \tag{3}$$

$$(q \pm k)(\lambda/2) = \eta_1' \tag{4}$$

设 $\Delta\lambda = \lambda/2 - \lambda/2$,式(1)减式(3)及式(2)减式(4)得

$$p\Delta\lambda \mp j(\lambda/2) = 0 \tag{5}$$

$$q\Delta\lambda \mp k(\lambda/2) = 0 \tag{6}$$

所以 $p/q = \pm j/k$,而 $p/q = \eta_1/(\eta_1')$,因此 j/k 也可用腔长 l_1/l_2 的比值关系来表示,即

$$\eta_1/(\eta_1') = \pm j/k \tag{7}$$

假如 a 腔的光学长度 η_1 和 F-P 标准具的光学厚度 η_1' 是互相不可约的正整数,此时,若对 λ 也能振荡,则 $j、k$ 的最小值分别是 η_1 和 η_1' .我们可以适当选择腔长与标准具厚度,使 $j、k$ 的最小值取得很大,说明能振荡的 λ 离已振荡的 λ 很远.这种方法使增益谱线非常宽的 Cr:LiSAF 晶体以简单的操作实现了单频输出.

2 实验与分析

组合短腔 Cr:LiSAF 激光器实验装置如图2所示³.腔 a 和腔 b 的长度分别为 500 μm 和 1000 μm ,腔 b 为腔 a 长度的2倍,说明腔 a 中所有起振激光都可在腔 b 中振荡,而腔 b 中有一半的振荡纵模不能在腔 a 中振荡,所以这一半的增益就很小,可不予考虑.腔 a 和腔 b 中间用厚度为 130 μm 的石英晶体隔开.两腔在靠近石英晶体的一面镀双色膜,在 780nm ~ 900nm 之间反射率为 99%.对泵浦波长 670nm 的透射率大于 90%.在另一面同样镀双色膜,但对 780nm ~ 900nm 之间的反射率为 99.9%.

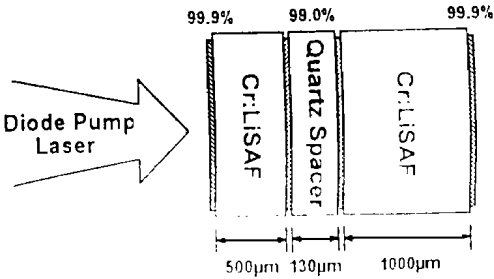


图2 组合短腔单频 Cr:LiSAF 激光器实验结构示意图

Fig.2 Schematic of the composite cavity, single-frequency Cr:LiSAF microlaser

对石英厚度和腔 a 长度的选择是根据式(7),使其比值成较大不可约整数的原则,简单地取 Cr:LiSAF 晶体和石英的折射率分别为 1.41 和 1.45,粗略地估算 $j/k \approx \pm 235/63$.由此可见,可能振荡的波长 λ 已不在有效增益范围内,因而这种两薄片组合 Cr:LiSAF 激光器会产生单频输出.但输出的单频激光很不稳定,且功率很小,这主要是由于腔长太短,激光振荡不能得到足够的增益,再加之晶体的热效应会使腔长改变,从而使输出的激光波长不稳定.根据 F-P 标准具的透射公式可算出输出波长的谱线宽度⁴

$$\delta\lambda = \lambda/(2\eta_1') \times (1-R)/R$$

这里 R 是反射率, $R = 0.99$,所以 $\delta\lambda \approx 0.02\text{nm}$,比实验测量值小.但测量值受限于仪器的分辨率,仪器最小分辨率只能达到 0.1nm,所以无法测到如此窄的谱宽.

图3和图4分别是实验测得的谱宽图和理论计算的谱宽图.

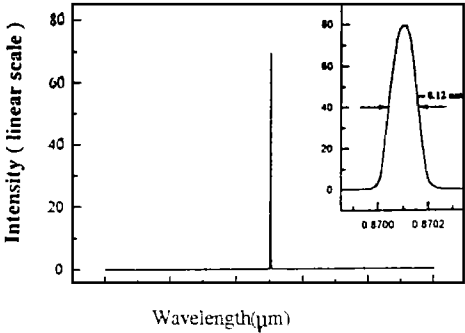


图3 实验测得的输出单频光谱图

Fig. 3 Instrument limited optical spectrum of the output of the composite cavity Cr:LiSAF microlaser

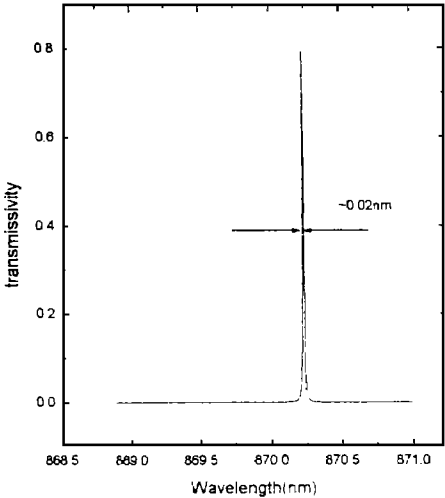


图4 理论计算的谱宽图

Fig. 4 Optical spectrum based on the theory

4 结论

直接在两薄片 Cr:LiSAF 晶体两端镀膜作为腔镜, 构成两个平行平面谐振腔, 相隔适当距离组合而成的短腔激光器在一定条件下能输出单频

激光, 且理论线宽比较窄. 这种单色性很好的激光在相干雷达, 相干光通信, 高分辨率光谱仪等方面有重要应用.

参考文献

1 Zayhowski J J, Mooradian A. Single-frequency microchip Nd lasers. Opt Lett, 1989, 14(1) : 24~26

2 阮双琛, French P M W, Taylor J R. 薄片 Cr:LiSAF 激光器. 光子学报, 1995, 24(1) : 88~89

3 Sutherland J M, Ruan S, Mellish R, et al. Diode-Pumped Single-Frequency Cr:LiSAF Microlaser. 瞬态光学技术国家重点实验室年报, 1995, 2: 82~87

4 姚建铨. 非线性光学频率变换及激光调谐技术. 北京: 科学出版社, 1995: 268

A THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDY ON
COMPOSITE CAVITY-SINGLE FREQUENCY
Cr:LiSAF MICROLASER

Han Hainian, Ruan Shuangchen*, Hou Xun*, Liu Yuhua**

Institute of Photonics & Photon-Technology, Northwest University, Xi'an 710069

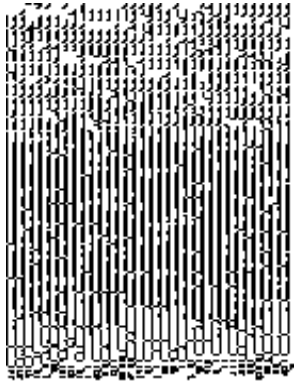
**Xi'an Institute of Optics & Precision Mechanics, Academia Sinica, Xi'an 710068*

***Depart of Physics, Foshan University, Guangdong 518000*

Received date:1998-08-11

Abstract The operating principle of a specially designed composite cavity, single-frequency Cr:LiSAF microlaser is analyzed. On this basis, the experimental result is compared with the theory in detail. While the length of two identically doped and dielectrically coated Cr:LiSAF crystals are respectively 500 μm and 1000 μm, the thick of quartz placed between the samples 130 μm, single longitudinal mode operation with instrument limited linewidth of less than 0.12nm is obtained. The theoretical linewidth is 0.02nm.

Keywords Composite cavity Cr:LiSAF microlaser; Single-frequency



Han Hainian was born in 1974. She received the B.S. degree from the Department of Physics in Shaanxi Normal University in 1996. Since then she has been working to M.S. degree in solid state laser and ultrafast phenomena at Institute of Photonics & Photon-Technology of Northwest University.