

高输出能量 Cr^{4+} :MSO 激光器的实验研究

宋定熙 吴有武 杨 勇 赵西南
(西南技术物理研究所,成都,610041)

摘要: 本文报道掺铬镁橄榄石激光器的最新研究结果。用 $1.06\mu\text{m}$ Nd YAG 脉冲激光室温纵向泵浦, 已获得 135mJ 的脉冲激光输出。

关键词: 镁橄榄石晶体 镁橄榄石激光器 纵向泵浦激光器

Investigation of Cr^{4+} :MSO laser with high output energy

Song Dingxi, Wu Youwu, Yang Yong, Zhao Xiwan
(Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu, 610041)

Abstract: In this paper, experimental results of longitudinally-pumped Cr^{4+} : Mg_2SiO_4 laser are reported. An output of 135mJ have been obtained by using $1.064\mu\text{m}$ Nd: YAG pulsed laser pump at room temperature.

Key words: forsterite crystal forsterite laser longitudinally-pumped laser

一、引 言

近些年来, 可调谐固体激光器已成为激光技术中最活跃的领域之一。随着可调谐固体激光晶体种类的增加, 可调谐激光器已从探索研究进入了军事装备, 环境研究和医学方面的应用发展阶段^[1]。

掺铬镁橄榄石(分子式为 Cr^{4+} : Mg_2SiO_4 , 简称为 Cr^{4+} :MSO 激光器, 作为一种重要的新型固体调谐激光器, 自 1988 年问世以来, 由于它的调谐范围($1.147\mu\text{m}\sim 1.345\mu\text{m}$) 处于近红外波段, 对人眼相对安全, 因而在国际上颇受重视, 发展十分迅速。它在超快光学、光纤通信和激光医学等领域有着广泛的应用前景^[2]。

近几年来, 关于掺铬镁橄榄石可调谐激光器已有用闪光灯、激光和 LD 泵浦的连续和脉冲以及激光锁模运转的大量报导^[2-9]。随着掺铬镁橄榄石晶体生长技术的改进, 晶体质量的提高和激光器运转条件的改善, 其调谐激光输出和效率也有较大提高。国内有人于 1993 年报导了在室温下掺铬镁橄榄石可调谐激光器的实验研究结果。采用调 Q 的 Nd: YAG 脉冲激光为泵浦源, 可调谐波长范围 $1.17\mu\text{m}\sim 1.33\mu\text{m}$, 输出能量 11.5mJ ^[10]。

本文主要介绍用本所研制的 Cr^{4+} 高掺杂镁橄榄石晶体激光器实现高输出能量的初步实验研究结果。

二、实验及结果

实验晶体: 所用样品为我所研制的 Cr^{4+} :MSO 晶体, 用 Czochralski 法生长, 生长方向为 a 轴。实验样品尺寸为 $6.6\text{mm}\times 7.0\text{mm}\times 20.5\text{mm}$ 的长方体, b 轴方向长 6.6mm , c 轴方向长 7.0mm , a 轴为通光方向, 长度 20.5mm 。其透过谱如图 1 所示。在室温下, 晶体在近红外光

谱区有明显的驼峰状吸收谱，其范围主要在 $0.95\mu\text{m} \sim 1.15\mu\text{m}$ ，在 $1.06\mu\text{m}$ 处的吸收为 88% 以上，吸收系数 α 为 1.034cm^{-1} 。晶体在调谐输出的激光中心波长 $1.23\mu\text{m}$ 处的透过率高达 97% 以上。

在实验中，线偏振光的光束沿晶体 a 轴方向入射。测试表明，偏振电场沿着 b 轴 ($E \parallel b$) 与沿着 c 轴 ($E \parallel c$) 时，光的吸收存在着明显差异。图 2 为沿 $\text{Cr}^{4+} : \text{MSO}$ 晶体的两种不同方向入射时偏振光的透过曲线。对 $1.064\mu\text{m}$ 波长和 $1.235\mu\text{m}$ 波长的光的透过率分别为：对于 $E \parallel b$ 时， $T_{1.06} = 7.1\%$ ， $T_{1.23} = 97.2\%$ ；对于 $E \parallel c$ 时， $T_{1.06} = 22.5\%$ ， $T_{1.23} = 96.1\%$ 。

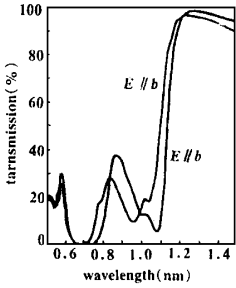


Fig. 2 The transmission of the forsterite crystal for the incident light polarized along the b -axis ($E \parallel b$) and c -axis ($E \parallel c$) of the crystal respectively

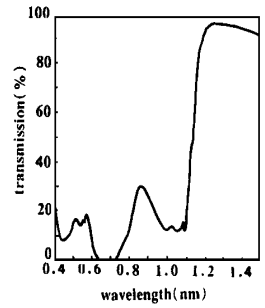


Fig. 1 Transmission spectrum of $\text{Cr}^{4+} : \text{MSO}$ crystal at room temperature

在 $1.06\mu\text{m}$ 波段，对应的吸收系数分别为：对于 $E \parallel b$ ， $\alpha = 1.290\text{cm}^{-1}$ ；对于 $E \parallel c$ ， $\alpha = 0.728\text{cm}^{-1}$ 。

由此可见，晶体对沿 a 轴入射， $E \parallel b$ 的偏振泵浦光的吸收大于 $E \parallel c$ 的偏振泵浦光的吸收。实验时，根据泵浦激光束的偏振特性，选择晶体的不同轴向，可获得较理想的匹配效果。

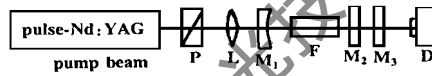


Fig. 3 Schematic diagram of the experimental arrangement for measuring the lasing characteristics of the $\text{Cr}^{4+} : \text{MSO}$ laser
P- polarizer L- pump focus lens M_1 - back mirror M_2 - plane output mirror F- filter D- detector

实验装置：图 3 为采用纵向激光泵浦的 $\text{Cr}^{4+} : \text{MSO}$ 激光器的示意图。谐振腔由凹面镜 M_1 和平面镜 M_2 构成。全反射镜 M_1 的曲率半径为 500mm ，对 $1.15\mu\text{m}$

$\sim 1.35\mu\text{m}$ 波长范围的光高反射，反射率为 99.6%；对 $1.064\mu\text{m}$ 波长的泵浦辐射高透过，其透过率 $T > 85\%$ 。输出耦合镜 M_2 对 $1.064\mu\text{m}$ 波长的光高反射，对波长 $1.23\mu\text{m}$ 光的透过率有 8%，15% 和 30% 三种，以供实验中选用。F 为滤光镜，对 $1.064\mu\text{m}$ 波长的光高反射，反射率为 99.9%；对 $1.23\mu\text{m}$ 波长的光则高透过。L 为会聚透镜，焦距 $f = 189\text{mm}$ 。D 为探测器（经校准的激光能量计）。

用一台 $\text{Nd}^{3+} : \text{YAG}$ 脉冲激光器作泵浦源。其输出的静态脉冲能量在 $0.1\text{J} \sim 1.5\text{J}$ 范围内连续可调。实验中， $\text{Cr}^{4+} : \text{MSO}$ 激光谐振腔由两反射镜和试验晶体构成，不加色散元件。泵浦激光束被透镜聚焦在晶体的中心位置；选择的输出激光中心波长为 $1.23\mu\text{m}$ 。在输出端外再用一滤光片（对 $1.064\mu\text{m}$ 高反射，反射率 99.9%；对 $1.23\mu\text{m}$ 透过率为 70%）以滤去剩余的 $1.064\mu\text{m}$ 的泵浦光。泵浦激光沿晶体 a 轴方向入射，偏振电场沿着晶体的 b 轴 ($E \parallel b$)。选用不同的输出耦合镜，在不同的泵浦能量下，测量了掺铬镁橄榄石激光器输出的能量，结果如图 4 所示。当泵浦能量为 1.25J ，对激光中心波长

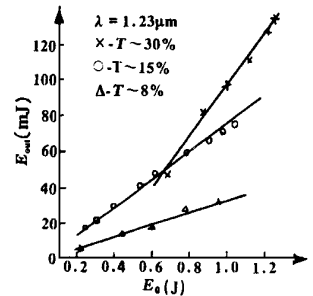


Fig. 4 Output energy of the $\text{Cr}^{4+} : \text{MSO}$ laser as function of absorbed pump energy for three different output couplers

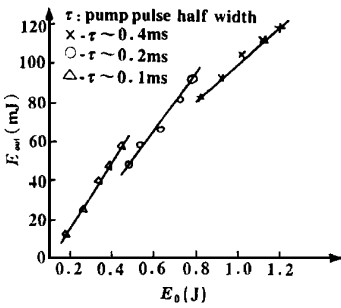


Fig. 5 Output energy of the Cr⁴⁺:MSO laser as a function of pump energy for three different pulsed half width

1. 23μm 的输出耦合为 30% 时, 激光器的输出能量为最大, 达到 135mJ。

实验中, 在相同的输出耦合条件下, 研究了泵浦光脉冲宽度与斜效率的关系, 其结果如图 5 所示。为了提高泵浦能量, 需要增大泵浦电源的电容容量, 从而使泵浦激光脉冲宽度也相应增大。在不同的泵浦光脉冲宽度和能量条件下得到不同的斜效率, 随着泵浦激光的脉冲宽度的增加, 斜效率下降, 其结果如图 5 所示。

三、讨 论

1. 为了使 Cr⁴⁺:MSO 激光器运转中能获得高的激光输出能量, 在不损坏晶体及其表面膜层的情况下, 尽可能提高泵浦光的能量, 可获得高的激光输出。调节会聚透镜形成泵浦区, 泵浦光束截面积的大小及截面能量分布, 会影响增益的大小。当泵浦激光能量为 1.25J 时, 可得到 135mJ 以上的输出能量。由于泵浦激光为静态脉冲, 其脉冲宽度为 μs 量级, 泵浦速率提不高, 也影响激光输出效率和输出能量, 而且随着泵浦激光能量的增大, 泵浦光脉冲宽度也相应增大, 导致斜效率降低。图 5 所示明显地表现出激光输出能量与泵浦速率的依赖性。提高泵浦光束质量, 减小泵浦脉冲持续时间, 有利于提高斜效率和输出能量。

2. Cr⁴⁺:MSO 晶体的吸收特性及晶体的取向对激光运转器件性能的影响是至关重要的。在单纵向泵浦实验中, 我们比较测试了几种不同掺杂浓度和取向的晶体的吸收特性曲线, 选取高激活粒子浓度和高 FOM 值的晶体并根据泵浦光束的偏振特性来选择晶体的不同轴向, 得到了较高的激光能量输出。

3. 在高泵浦水平, 高输出能量的情况下工作, 如果泵浦频率较高, 还必须注意改善晶体的冷却条件。从实验中发现, 即使是脉冲运转, 晶体的热效应也会影响激光输出的稳定性。

感谢徐天华任务组为本研究提供了优质 Cr⁴⁺:MSO 晶体。

参 考 文 献

- 1 Onishchukov G, Hodel W, Webet H P. Opt Commun, 1993; 100: 137
- 2 Petricevic V, Gayen S K, Alfano R R. A P L, 1988; 52: 1040
- 3 Petricevic V, Gayen S K, Alfano R R. Opt Lett, 1989; 14: 612
- 4 Verdun H R, Thomas L M, Andrauskas D M *et al.* A P L, 1988; 53: 2593
- 5 Petricevic V, Gayen S K, Alfano R R *et al.* Appl Opt, 1989; 28: 1609
- 6 Baryshevskii V G, Korzhik M V, Kimaev A E *et al.* J Appl Spectroscopy, 1990; 53: 675
- 7 Sugimoto A, Segava Y, Yamaguchi Y *et al.* Japan J A P, 1989; 28: L1833
- 8 Carrig T J, Pollock C R. Opt Lett, 1991; 16: 1662
- 9 丘 治, 刘 晔, 褚春霜 *et al.* 中国激光, 1993; A20: 406

* * *

作者简介: 宋定熙, 男, 1937 年 11 月出生。高级工程师。现主要从事激光参数计测技术及探测器的研究工作。

收稿日期: 1996-09-16