

衍射极限的掺钕钇铝石榴石激光器

范琦康 毛伟民 柳月英 李永春 吴兆庆

(中国科学院上海光机所)

提 要

本文报导一种以掺钕钇铝石榴石为工作物质的激光器,其输出光束达衍射极限。输出脉宽为6~7毫微秒(FWHM),光谱宽度约为0.35埃(FWHM),最高输出达60毫焦耳,偏振度达98%,重复率为1次/秒。激光谐振腔采用平凸非稳定腔结构。

Diffraction limited Nd:YAG laser

Fan Qikang Mao Weiming Liu Yueying Li Yongchun Wu Zhaoqin

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

Abstract

A Nd:YAG laser with diffraction limited output is reported. Its pulse width is 6~7 ns (FWHM), spectral width about 0.35 Å (FWHM). Maximum output is 60 mj, polarization, 98%; repetition rate, 1pps. The laser resonator is a plane-convex unstable cavity.

一、引 言

掺钕石榴石晶体作为激光工作物质具有增益高、效率高、谱线窄和导热性能好等优点。在脉冲工作方式中它很容易作成脉冲窄(10毫微秒以下)、重复率高(每秒输出几十到几百个脉冲)的器件。它的光学质量虽然不及掺钕玻璃好,但比红宝石晶体好。用优质石榴石棒作激光工作物质可以达到衍射极限。由于掺钕石榴石具有上述一些优点,目前它已成为应用最广的固体激光工作物质之一。掺钕石榴石激光器可用于测距、打孔等

方面。高亮度的掺钕石榴石激光器输出,经过倍频以后产生的强绿光(5320埃)可作为人卫测距、测月、全息水下测距等方面的光源,还可以作染料激光器的光泵。因此研制一台高亮度的石榴石激光器对于许多应用都有很大意义。

二、激光器的结构及参数

为了使激光器的输出具有良好的方向性同时具有较大的输出能量,我们采用平凸型非稳腔结构。整个激光器的结构见图1。所

收稿日期:1979年6月9日。

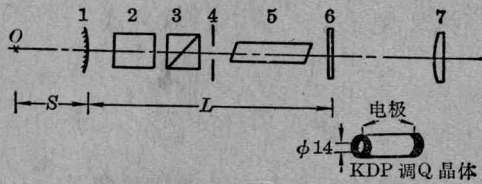


图1 掺钕石榴石激光器示意图

1—凸面反射镜, $R=886$ 毫米; 2—KDP 调 Q 晶体, $\phi 20 \times 50$ 毫米; 3—起偏器(格兰棱镜); 4—圆孔光阑($\phi 4.2$); 5—石榴石棒($\phi 5.7 \times 81$ 毫米); 6—谐振腔输出镜(平板玻璃); 7—准直透镜($f=1.2$ 米)

用石榴石棒的尺寸为 $\phi 5.7 \times 81$ 毫米。它与氙灯一起置于椭圆聚光腔内。石榴石棒用浓度为 1% 的重铬酸钾($K_2Cr_2O_7$)溶液循环冷却, 调 Q 晶体为 KDP。采用纵向调 Q 方式。加在 KDP 晶体上 1/4 波电压约为 8000 伏。调 Q 晶体为 $\phi 20 \times 50$ 毫米的圆柱体。加压电极采用带孔的帽形结构(见图 1 右下方), 目的是使光路内的电场分布均匀, 从而使整个光路截面内调 Q 的开关效果好^[1]。起偏器用格兰棱镜。激光器的谐振腔由一块曲率半径 $R=886$ 毫米的球面反射镜(全反射镜)和一块平板玻璃(作输出镜)组成。谐振腔长 $L=420$ 毫米。激光器的输出为球面波, 通过焦距 $f=1.2$ 米的准直透镜将它变为平面波。准直后输出光斑直径为 10 毫米左右。输出球面波的发光中心 O 距球面反射镜的距离 S 可由下式计算^[2]:

$$S = \sqrt{L_{\text{有效}}^2 + RL_{\text{有效}}} - L_{\text{有效}} \quad (1)$$

其中 $L_{\text{有效}}$ 为有效腔长。它的值为:

$$L_{\text{有效}} = L - \left(1 - \frac{1}{n_1}\right) l_1 - \left(1 - \frac{1}{n_2}\right) l_2 - \left(1 - \frac{1}{n_3}\right) l_3 \quad (2)$$

上式中 n_1, n_2, n_3 和 l_1, l_2, l_3 分别为调 Q KDP 晶体、格兰棱镜(冰洲石)和石榴石棒的折射率和长度。将具体的数字($n_1=1.49$, $n_2=1.50$, $n_3=1.83$, $l_1=50$ 毫米, $l_2=20.5$ 毫米, $l_3=81$ 毫米)代入, 可以算得 $L_{\text{有效}} \approx 360$ 毫米。将它代入(1)可得 $S=310$ 毫米。实验证明计算求得的发光中心 O 的位置与实际位

置非常接近。激光腔的放大系数 M 为^[2]:

$$M = \left| \frac{\sqrt{L_{\text{有效}}^2 + L_{\text{有效}}R} + L_{\text{有效}}}{\sqrt{L_{\text{有效}}^2 + L_{\text{有效}}R} - L_{\text{有效}}} \right| \quad (3)$$

代入数字求得为 $M \approx 3.3$ 。

三、激光器的输出特性

激光器的静态(自由振荡)输出特性如图 2(a)所示。激光输出能量与光泵输入能量之间的关系基本上是直线关系。斜率约为 0.35%。其动态(调 Q 工作状态)输出特性如图 2(b)所示。斜率约为 0.32%。当输入能量小于 60 焦耳时, 激光输出能量与光泵输入能量呈线性关系。超过此值激光输出饱和。其原因在于当光泵输入过高的情况下, 在调 Q 开关打开前激光器产生微小的寄生振荡(这种寄生振荡的小脉冲我们在示波器中观察到了)。这种寄生振荡消耗工作物质上能级的粒子, 致使调 Q 开关打开前上能级的粒子数不能随着光泵能量的增加而显著地增加。这就造成输出能量的饱和。产生寄生振荡的原因是输出腔板与腔内一些光学界面(如调 Q KDP 晶体的表面)构成共振腔所致。

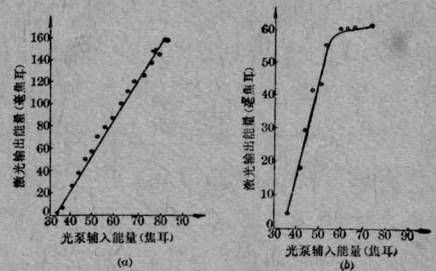


图2 激光器输出能量与输入光泵能量之间的关系
(a) 静态; (b) 动态

用示波器测得的调 Q 脉冲宽度 6~7 毫微秒(FWHM), 拍摄的示波图如图 3 所示。

用法布里-珀罗标准具(标准具二镜面间隔为 3.13 毫米)测定为 0.35 埃(FWHM), 图 4 为标准具干涉图。

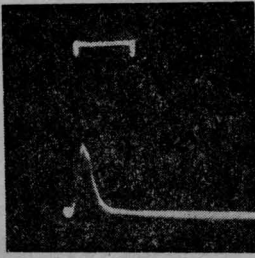


图3 激光器输出脉冲波形
(标尺为 20 毫微秒)

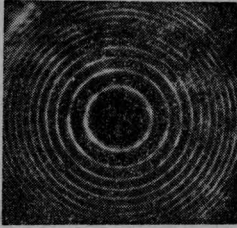


图4 激光光束通过法布里-珀罗
标准具的干涉图样

激光器输出光束是线偏振的，偏振度约为 98%。激光光束的角分布用焦距 6.21 米的透镜测定。图 5 为该透镜焦面上拍摄的远场花样。主峰全宽度为 0.26 毫弧度。在激光焦斑位置放一直径 $\phi 1.6$ 毫米的小孔（相当于 0.26 毫弧度），我们测量了通过小孔的激光能量。这样测得的 0.26 毫弧度角宽内所占的能量约为总能量的 84%。这与平面波在 $\phi 10$ 毫米圆孔的夫琅和费衍射图样（在 0.26 毫弧度的主峰内占 83% 的总能量）非常一致。进一步增加拍摄远场图的曝光量可以看到远场由几个环组成。各个极小值环的直径之比为 1:1.86:2.47。而平面波圆孔衍射花样各极小值环之比为 1:1.83:2.66。

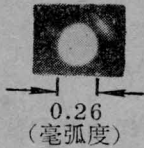


图5 用焦距 $f=6.21$ 米透镜测定的
激光束远场花样

可见两者也是很接近的。激光器工作的重复频率为 1 次/秒。

四、讨 论

由于掺铈石榴石有很高的增益系数，必须防止腔内不希望的寄生振荡。为此腔内各光学元件的界面应与腔轴保持一定的倾角以免引起寄生反馈。在可能的情况下这些界面上涂波长 1.06 微米的增透膜以降低腔内损耗。实验证明这些光学界面只涂增透膜而不倾斜，仍可能产生寄生振荡。同时实验已证明将石榴石棒端面磨斜以后，最大可达到的单脉冲能量增加了。然而在我们实验中，调 Q 晶体的端面与输出镜接近平行，致使当光泵输入能量增加时，在调 Q 开关打开前还会造成微弱的寄生振荡。这是妨碍单脉冲输出能量进一步提高的主要因素。超辐射也是限制激光输出能量的一个重要因素。在选取激光器工作点时应在出现饱和以前，这样输出脉冲才有较高的信-噪比。

此外，必须恰当地选择光泵闪光灯点燃时刻与调 Q 开关打开时刻之间的延迟时间。这个时间选择得太长会降低输出能量，选择得太短不仅会降低输出能量，而且会在巨脉冲后产生若干小脉冲。这是因为退压式调 Q 方式，调 Q 开关打开后，要经过较长时间才回复到关闭状态。在这段较长时间内，巨脉冲产生以后，由于光泵继续存在，因此又会积累到足够多的上能级粒子超过阈值产生激光振荡。显然这种振荡是我们所不希望有的，应该尽量避免。

参 考 文 献

- [1] L. L. Steinmter *et al.*; *Appl. Opt.*, 1973, 12, No. 7, 1468.
- [2] Ю. А. Анапьев; *Кван. электр.*, 1971, №6, 3~34.