

经有好多研究报道^[4~6]。而脉冲分裂现象则不可能像分析弛豫振荡那样用简单的单模速率方程模型来研究。本文使用单横模的激光泵浦超短腔染料激光器,输出激光也是横模(短腔激光器有利于单横模振荡),这就排除了由各横模起振时间不一致,而导致脉冲包络分裂的可能性。图 3 中右边曲线给出了对应某一泵浦能量的泵浦光脉冲时间波形,虽然它具有光滑的轮廓,但不能排除对应不同泵浦能量的泵浦脉冲时间波形有分裂或多峰现象。泵浦脉冲是通过被增益染料吸收转换成染料上能级粒子数来影响输出激光脉冲的,因此泵浦脉冲的分裂或多峰结构不可能导致像实验中所观察到的输出激光脉冲分裂这样几乎是突变的快过程。

我们对脉冲分裂现象的初步解释是在多纵模振荡的超短腔染料激光器中,由于其腔长短,纵模间隔大,因而各振荡模的增益、损耗差异较大,故它们各自建立振荡的时间不同而导致输出脉冲包络有分裂现象发生。进而可以推断实际上在泵浦强度较低和较高的情况下,脉冲也会有一定程度的分裂,只是分裂程度不高,受条纹相机分辨率(~ 10 ps)的限制而观察不到。假如能够使超短腔染料激光器实现单纵模运转,就可以验证这种解释是否成立。在腔长 $< 5 \mu\text{m}$ ^[7] 时,可以实现单纵模运转,但输出激光脉冲能量较低,使得在实验中无法验证。

感谢上海光机所何慧娟、陆雨田、董景元等同志的帮助及支持。

参 考 文 献

- 1 A. J. Cox *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **40**, 664(1982)
- 2 G. W. Scott *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-19**, 554(1983)
- 3 H. P. Krotz *et al.*, *IEEE, J. Quant. Electr.*, **QE-21**, 1795(1985)
- 4 C. Lin, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-11**, 602(1975)
- 5 C. L. Tang, *J. Appl. Phys.*, **34**, 2935(1963)
- 6 R. Dunsmuir *et al.*, *J. Electr. Contr.*, **10**, 453(1961)
- 7 刘一先,伍长征 *et al.*,*应用激光*, **5**, 207(1985)

(收稿日期: 1989 年 9 月 26 日)

一种新型单纵模连续 Nd:YAG 激光器

陆耀东

(北京激光参量测试中心, 100010)

兰信钜 刘耀兰

(华中理工大学激光研究所, 430074)

A new single-axial-mode (SAM) CW Nd:YAG laser

Lu Yaodong

(Beijing Laser Parameter Testing Center, Beijing)

Lan Xinju, Liu Yaolan

(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan)

Abstract: A single-axial-mode (SAM) selection method using T-R double F-P etalon has been proposed. A SAM output of 150 mW has been achieved by this method from a CW Nd:

YAG laser.

Key words: SAM, F-P etalon

一、引言

获得单纵模激光输出的最基本方法是在谐振腔内插入一块 F-P 标准具。对于 Nd:YAG 激光器,其增益线宽很大,若用单 F-P 标准具选纵模,则它必须有足够的选择性以抑制与选定模式相邻纵模的振荡。同时它的自由光谱区还应足够大,以保证在超过阈值的增益线宽范围内只有一个纵模振荡。这就要求标准具有极高的反射率。但反射率过高易产生损伤。因此用一个标准具很难满足上述两个要求。

本文在一般的标准具选纵模装置基础上,将其输出镜改为具有光谱选择性的反射型标准具,使两个标准具分别满足选单纵模的两个条件,从而降低了对每个标准具的要求。

二、理论

图 1 是用透反双 F-P 标准具选纵模原理图。其中 F_1 是透射标准具, F_2 是反射型标准具兼输出镜, M_1 是全反镜。工作时调整谐振腔长度, F_1 的角度或控制两标准具的温度可使增益曲线中心频率、 F_1 的透射极大频率及 F_2 的反射极大频率三者重合。同时使 F_1 倾斜一定角度还能消除 F_1 与腔内各元件之间的自激振荡,使其各自独立地起作用。根据文献[1],描写 F_1 透射频谱特性和 F_2 反射频谱特性的方程为

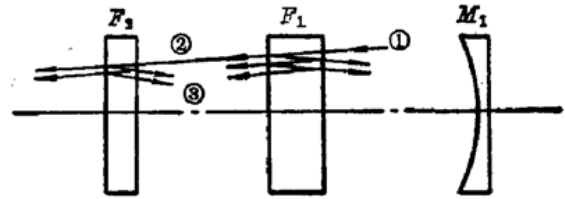


图 1 T-R 双 F-P 标准具选模原理图

$$T_1 = \frac{1}{1 + A_1 \sin^2\left(\frac{\delta_1}{2}\right)} \quad (1)$$

$$R_2 = \frac{A_2 \sin^2\left(\frac{\delta_2}{2}\right)}{1 + A_2 \sin^2\left(\frac{\delta_2}{2}\right)} \quad (2)$$

式中

$$A_1 = 4r_1 / (1 - r_1)^2 \quad (3)$$

$$A_2 = 4r_2 / (1 - r_2)^2 \quad (4)$$

$$\delta_1 = \frac{4\pi n_1 d_1 \cos \theta_1 \cdot f}{c} \quad (5)$$

$$\delta_2 = \frac{4\pi n_2 d_2 \cos \theta_2 \cdot f}{c} \quad (6)$$

n_1, n_2, d_1, d_2 分别为两个标准具的折射率和厚度, r_1, r_2 为反射率, T_1 和 R_2 分别为 F_1 的光强透过率和 F_2 的光强反射率, f 为相对频率座标。

考虑到两个标准具的影响,其频谱关系应表为

$$T = T_1 \cdot R_2 \quad (7)$$

式中 T 为光在图 1 中行进一个单程后的位置 ③ 与初始位置 ① 两处光强之比。

对一台自由振荡 Nd:YAG 激光器, 增益线宽 Δf_g 约为 100 GHz 左右^[2], 要实现单纵模运行, 对 F_2 的选择原则是使其自由光谱范围 $\geq \Delta f_g/2$, 即 $c/2n_2d_2 \geq \Delta f_g/2$ 。求得 $d_2 = 2 \text{ mm}$ 。

为抑制由谐振腔长度决定的相邻纵模的振荡, 在选择 F_1 参数时, 必须使它对相邻纵模具有足够的损耗。根据理论计算结果, 只要使被抑制模处损耗比选定模处大 4% 以上即可达到单纵模振荡。而且该差值越大, 能达到的单纵模输出功率越大。

对于我们的单纵模激光器系统, 腔长 35 cm, 对应的纵模间隔为 0.45 GHz, 若取 $d_1 = 11 \text{ mm}$, 反射率 70%, 则相邻纵模处损耗为 11%, 因此这类纵模足以被抑制掉。

在选择 F_2 反射率时, 既要保证能抑制掉 F_1 相邻透射峰处纵模的振荡, 同时又要兼顾输出耦合率。实验表明 $r_2 = 30\%$ 较好。

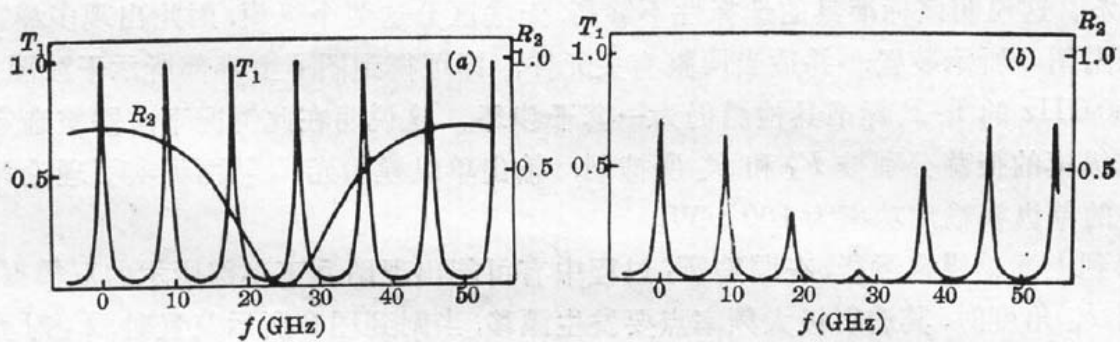


图 2 选模标准具的透反射频谱关系

将上述参数代入 (1) ~ (7) 式, 使 F_1 的透射极大频率和 F_2 的反射极大频率等于增益曲线中心频率, 并令该频率座标为零, 则可画出图 2 所示的频谱关系曲线。此时兼作输出镜的 F_2 对 F_1 相邻透射峰处的反射率此峰值处小 7%, 因而被抑制掉。

综上所述, 在图中零频率左右 50 GHz 范围内只可能有一个纵模振荡。

三、实验结果及其分析

图 3 是用透反双 F-P 标准具选纵模的实验装置。其中全反镜曲率半径为 300 cm, Nd:

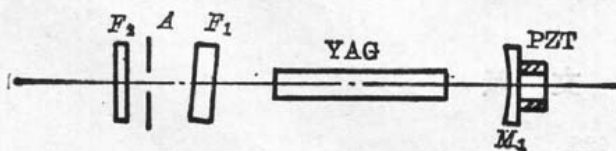


图 3 T-R 双 F-P 标准具选模装置

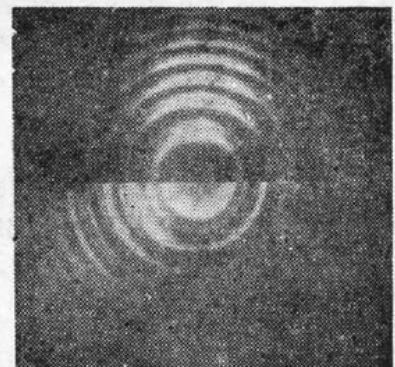


图 4 上: 多模振荡 F-P 干涉图
下: 单标准具选模时的干涉图
检测 F-P 标准具参数 FSR 为 1.1 GHz, 精细度 30

YAG 棒尺寸为 $5 \times 79 \text{ mm}$ ，腔内选横模小孔直径为 1 mm ，透射标准具 F_1 的自由光谱范围 (FSR) 为 9 GHz ，精细度为 8.76 ，兼作输出镜的反射标准具 F_2 的自由光谱区和精细度分别为 50 GHz 和 2.46 。全反镜 M_1 装在压电陶瓷上。输出光采用 FSR 为 1.1 GHz 和 50 GHz 。精细度均为 30 的照相系统检测其纵模。

图 4 上半部是用一般的平凹稳定腔加小孔限横模时，输出激光的 F-P 照片。虽然 YAG 属于均匀增宽介质，但由于驻波腔的空间烧洞效应，腔内不同纵模可以利用工作物质不同位置处的增益产生振荡。当激发较强时就会出现图中所示的多模振荡。图 4 下半部是用一块厚 2 mm 、反射率 70% 的标准具作为腔内纵模选择元件时，拍得的输出激光 F-P 干涉图照片。可以看到，在一个强的纵模旁边还存在着一个较弱的纵模。对腔长 $L=35 \text{ cm}$ 的谐振腔，纵模间隔为 0.45 GHz ，由 (1) 式求得离标准具透射极大频率 0.45 GHz 处的透过率为 0.97 ，与峰值仅相差 2.3% 。这说明该标准具的选择性不够高，无法区分这两个纵模，因此出现多模振荡。

若采用图 3 所示装置，并适当调整有关元件，即可得到图 5 上半部所示干涉图。此时用 FSR 为 50 GHz 的 F-P 标准具检测仍为一套干涉环。这说明在此情况下，除被选定纵模外，腔内其它纵模的振荡分别被 F_1 和 F_2 所抑制，输出单纵模激光。从而证实了理论计算结论。测得此时的单纵模输出功率为 150 mW 。

为得到上述单纵模运行，在调整 F_1 过程中有可能出现图 5 下半部所示的双模振荡。这是由于微调 F_1 角度时，其透射极大频率点要发生漂移，当调到图 6 所示位置时， F_1 对 f_3 和 f_4 两个纵模失去辨别能力。而其它纵模的损耗比 f_3, f_4 处大得多，不可能形成振荡。所以，输出两个强度几乎相等的纵模。

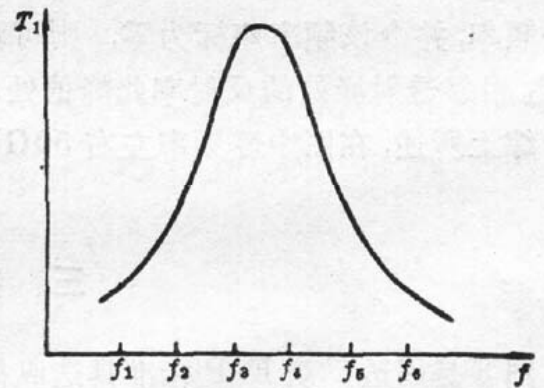
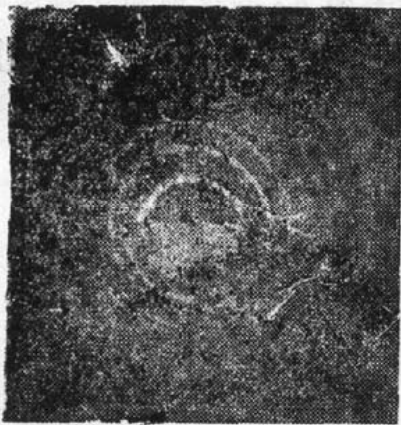


图 5 上: 单纵模输出干涉图; 下: 双模振荡干涉图
检测 F-P 参数: FSR 1.1 GHz , 精细度 30

图 6 F_1 透射峰与谐振腔纵模频率的关系

参 考 文 献

1 M 玻恩, E 沃尔夫, 光学原理, 科学出版社, 北京, 1978, 426.
2 W. Culshaw, AD908069, 3.

(收稿日期: 1988 年 8 月 26 日)