

高稳定 $1.3414 \mu\text{m}$ TEM₀₀ 模 Nd³⁺:YAP 连续激光器

沈鸿元 周玉平 曾瑞荣 于桂芳 黄呈辉 廖宏 曾政东 连天泉

(中国科学院福建物质结构研究所, 福州)

High stability $1.3414 \mu\text{m}$ TEM₀₀ mode Nd³⁺:YAP CW laser

Shen Hongyuan, Zhou Yuping, Zhen Ruirong, Yu Guifang Huang Chenhui,

Liao Hong, Zheng Zhendong, Lian Tianquan

(Fujian Institute of Research on The Structure of Matter, Academia Sinica, Fuzhou)

提要: 分析研究了 $1.3414 \mu\text{m}$ Nd³⁺:YAP 连续激光器波动的原因, 探索了抑制波动的技术, 研制成功高稳定 $1.3414 \mu\text{m}$ TEM₀₀ 模激光器。激光输出功率 5.3 W , 在 $0 \sim 25 \text{ kHz}$ 频率范围内波动 $\leq \pm 0.87\%$, 未观察到由弛豫振荡引起的尖峰, 激光接近线偏振光。

关键词: $1.3414 \mu\text{m}$, TEM₀₀ 模, 高稳定性

一、引言

$1.3414 \mu\text{m}$ 处在光纤低损耗和零色散范围, 它在单模光纤中比短波长激光更易实现单模传输, 因而不仅能用于光纤传输特性^[1]和光纤通信性能研究^[2], 而且可与单模光纤结合用于高灵敏传感研究, 这一波长激光也是一些重要的可调谐色心激光器^[3]和终端声子激光器的泵浦源^[4], 因而 $1.3 \mu\text{m}$ 激光日益引起人们的重视。但在不少实际应用中要求激光具有较高的幅度稳定性。本文报道了 $1.3414 \mu\text{m}$ Nd:YAP 连续激光器波动及其起因的实验研究及分析, 探索了抑制波动获得高稳定激光的技术。已研制成功高稳定 $1.3414 \mu\text{m}$ TEM₀₀ 模 Nd³⁺:YAP 连续激光器。

二、幅度波动及其成因

我们利用频率响应比硫化铅高的锗光敏

二极管作为 $1.3414 \mu\text{m}$ 激光的检测器, 针对不同频率范围的波动采用相应频率响应的指示器显示幅度波动。激光幅度的缓慢衰变和几 Hz 范围的波动用 X-Y 记录仪显示, $0 \sim 25 \text{ kHz}$ 范围的波动用 195 型数字繁用表显示, 更高频率范围的波动用宽带示波器显示。结果表明在 $1.3414 \mu\text{m}$ Nd³⁺:YAP 连续激光器中存在着从较缓慢的幅度衰变到几百 kHz 的幅度波动。另外还存在着频率为几百 MHz 的与轴模竞争相应的幅度波动, 但这已超出所用检测器的频率响应范围。

实验表明, 激光幅度的缓慢衰变是由于激光器长期运转后工作物质和反射镜表面出现小斑点、泵浦灯石英管壁出现溅射斑、灯棒和水套表面沉积水垢等因素使器件净增益下降所致。

频率在几 Hz 到几十 kHz 范围的幅度波动, 除了电源纹波引起与之频率相应的激

收稿日期: 1988年3月3日。

* 本工作由中国科学院自然科学基金资助。

光波动外,其它的波动诸如电源不稳定、光学元件振动、冷却水冲击、工作物质的温度波动、腔空间尘埃和空气无规则的流动等通过腔的增益、损耗和振荡条件的变化使激光强度产生的波动都是随机的。

用示波器观察到激光输出中存在着很多随机出现的尖峰(见图1所示),其幅度往往高出直流幅度一倍以上,这种情况与 Nd:YAG 连续激光相似,它对于包含这一频谱的应用是非常有害的,我们曾用 $1.064\mu\text{m}$ 的 Nd^{3+} :YAG 连续激光做过 6 个话路(频谱范围为 $0\sim 230.4\text{kHz}$)的激光 PCM 调制通信实验,发现尽管激光低频幅度波动仅 6%,但接收到的脉冲编码调制信号完全淹没在这些尖峰中,根本无法检出信号。在适当的条件下可以观察到阻尼振荡波形,这就是固体激光中由弛豫振荡引起的尖峰。当敲击激光器、用电风吹腔空间、电源脉动以及氩灯电极对石英管壁放电时,不仅能使尖峰的幅度几倍地增长而且出现几率也大大增加。

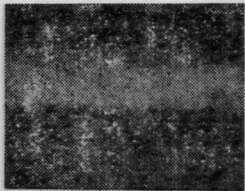


图1 $1.3414\mu\text{m}$ Nd^{3+} :YAP 连续激光器输出的波动

时标: $50\mu\text{s}/\text{div}$; 灵敏度: $5\text{mV}/\text{div}$

此外,我们还观察到频率在几百 kHz 的波动,若激光器工作在 TEM_{00} 模,则这些波动就消失。

综上所述, $1.3414\mu\text{m}$ Nd^{3+} :YAP 连续激光器输出存在波动的起因为:

(1) 激活共振腔引起的波动。这包括横模竞争(还有轴模竞争)和弛豫振荡产生的波动。

(2) 泵浦源引起的波动。这包括电源不稳定和纹波引起的波动、氩灯中等离子体不稳定及电极对石英管壁放电引起激光的波

动。

(3) 机械振动和热波动引起的波动。这包括光学元件振动、冷却水的冲击、腔空间尘埃和气体不规则流动以及激光棒温度波动引起激光输出的波动。

(4) 激光元件性能退化引起输出的缓慢衰变。

三、抑制波动的技术

为了改善 $1.3\mu\text{m}$ 激光的稳定性,我们除选模光阑外腔内不附加光学元件,针对波动起因利用相应技术抑制或降低了不同频率范围的激光波动。

(1) 首先利用小孔选横模,让激光器工作在 TEM_{00} 模。这样不仅抑制了频率在几百 kHz 的由横模竞争引起的波动,而且基模体积周围的工作物质起了热稳套管的作用,减小了由于工作物质温度波动带来的激光波动。

(2) 弛豫振荡起因于腔内光子数和工作物质中反转粒子数的相互作用,对于均匀加宽的四能级激光晶体,从描述腔内光子和反转粒子数相互作用的速率方程,在小信号近似下可以得到腔内光子数满足的方程为^[5]

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \left(\frac{1}{T} + \frac{1}{T_R}\right) \frac{dq}{dt} + \frac{q}{T_q T_R} = 0,$$

这是描述阻尼振子的典型微分方程,其中 T 是激光上能能寿命; T_R 是平均激光寿命; T_q 是腔内平均光子寿命。在小信号近似下解得

$$q = q_0 e^{-at} \exp[i(\omega_m^2 - a^2)^{1/2}t],$$

$$\text{式中 } \omega_m = (\tau_q \tau_R)^{-1/2}, \quad a = \frac{1}{2} (T^{-1} + T_R^{-1}),$$

它们分别是弛豫振荡频率和阻尼系数。

当外界存在一个频率接近 ω_m 的暂态干扰时,通过共振将使激光幅度提高随后以阻尼振荡的形式衰减,造成尖峰输出。通常固体激光器中,由于腔镜与棒面间的次腔效应使得这种振荡更易发生,极微弱的外界干扰

通过次腔作用就能在系统中激励起弛豫振荡, 这就是产生难以计数尖峰的原因(见图1)。通常的 $1.3414\ \mu\text{m}$ $\text{Nd}^{3+}:\text{YAP}$ 连续激光器其阻尼系数是很小的, 测得阻尼振荡的频率为 $47.13\ \text{kHz}$, 阻尼系数为 $6.0 \times 10^3\ \text{s}^{-1}$ 。

基于上述分析, 提高阻尼系数、消除次腔效应提高抗外界干扰的能力、消除或减弱能引起弛豫振荡的干扰源, 如使用高稳定的电源、精心挑选氩灯, 防止使用灯电极对石英管放电的氩灯、密封腔空间以及消除或减弱外界的振荡源, 上述措施能有效地抑制弛豫振荡, 得到无尖峰输出。

(3) 采用纹波系数小于 $1/1000$ 的电源, 防止使用灯弧在石英管中蠕动的氩灯以减小器件增益的起伏, 适当降低冷却水的流量以减小冷却水的冲击力, 减小机械振动, 密封腔空间等以减小器件损耗的起伏, 利用缓冲器稳定冷却水, 减小对器件的冲击力和减小工作物质的温度波动对振荡模的影响, 上述措施能有效地减小几十 kHz 范围内的幅度波动。需要特别指出的是, 从高稳定性和实用考虑采用对失调不灵敏的谐振腔是非常重要的。我们已研制成这种谐振腔。

四、实验结果

考虑上述因素后, 已研制成高稳定 $1.3414\ \mu\text{m}$ TEM_{00} 模 $\text{Nd}^{3+}:\text{YAP}$ 连续激光器。激光性能用图2所示装置测量。激光经分束镜2部分反射后, 由转镜5将其扫过 $0.2\ \text{mm}$ 的狭缝后的锗光敏二极管, 光束剖面在宽带示波器上显示以确定横模。经分束镜3反射的激光, 由锗光敏二极管7接收后, 在195数字繁用表显示 $0\sim 25\ \text{kHz}$ 范围的波动, 并由 $x-y$ 函数记录仪记录低频波

动。激光功率计由经上海计量测试所标定的圆盘功率计测定, 测量时间为1小时。精心调整小孔的孔径及其与激光束的同心率, 让激光工作在 TEM_{00} 模后进行性能测量。高

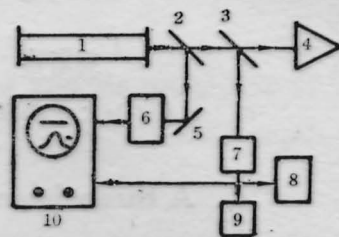


图2 高稳定 $1.3414\ \mu\text{m}$ TEM_{00} 模 $\text{Nd}^{3+}:\text{YAP}$ 连续激光性能测量装置

1—高稳定 $1.3414\ \mu\text{m}$ TEM_{00} 模 $\text{Nd}^{3+}:\text{YAP}$ 连续激光器; 2、3—分束镜; 4—圆盘功率计; 5—转镜; 6、7—锗光敏二极管; 8—195型数字繁用表; 9— $x-y$ 函数记录仪; 10—宽带双线示波器

稳定 $1.3414\ \mu\text{m}$ TEM_{00} 模 $\text{Nd}:\text{YAP}$ 连续激光器输出的低频波动小于 $\pm 0.25\%$ 。通常未经抑制波动技术的激光器其波动幅度大于 6% 。高稳定 $1.3414\ \mu\text{m}$ TEM_{00} 模 $\text{Nd}^{3+}:\text{YAP}$ 连续激光器的输出波形在最灵敏的示波器上 $5\ \text{mV}/\text{div}$ 档看不到任何尖峰。用195数字繁用表记录1小时内激光输出波动小于 $\pm 0.87\%$, 用圆盘功率计测定 $1.3414\ \mu\text{m}$ TEM_{00} 模激光功率达 $5.3\ \text{W}$, 经格蓝-汤姆逊棱镜检偏表明激光接近线偏振光。

这种激光器已用于单模光纤性能测试和晶体折射率的高精度测量, 均获得满意的结果。

参 考 文 献

- 1 黄肇明 *et al.*, 光学学报, **5**, 951 (1985)
- 2 井上 *et al.*, 第40回应物学会(1979年秋), **30**, P-R-6
- 3 I. Schneider, *Opt. Lett.*, **5**, 314 (1980)
- 4 P. F. Moulton, *Appl. Phys. Lett.*, **12**, 838 (1979)
- 5 H. G. Danielmeyer, *J. Appl. Phys.*, **41**, 4014 (1970)