

双频 CO₂ 激光器的输出特性分析 及三频外差测量研究

贾列娟* 南京达 樊立明* 皮名嘉
(哈尔滨工业大学应用物理系, 哈尔滨 150006)

提 要

本文从实验上研究了固定谱线 CO₂ 激光器的双频输出特性, 并对其产生双频输出的原因作了初步分析; 利用该激光器, 成功地进行了三频外差测量研究。

关键词: CO₂ 激光器, 三频外差, 相干探测。

一、前 言

1969年, Teich 等人提出了类似于辐射测量术的激光三频外差原理^[1,2], 从理论上分析表明: 激光三频外差系统不仅具有常规外差探测系统接近理想的信噪比, 且消除了常规外差探测中的一些困难, 它往往不需要复杂的高频电子线路改进系统的阻抗匹配、噪声系数及常规下的工作范围。实现三频外差的关键是必须有一个双频 CO₂ 激光器, 虽然两只 CO₂ 激光器也能代替双频激光器, 但这将使系统复杂化, 而且其频率稳定度也难以满足要求, 并且两束激光在准直、偏振等方面带来极大的困难。鉴于此, 人们在三频外差探测方面的研究工作进展甚少。

本文从实验上研究了固定谱线的双频 CO₂ 激光器的输出特性, 发现它可以稳定地运转于双频状态, 并利用它进行了三频外差研究。

二、实 验 装 置

实验装置如图 1 所示, 两只激光器均为全内腔光栅选支固定谱线 CO₂ 激光器, 波长为 10.6 μm [10P(20)谱线], 输出功率分别为 5 W、4 W。激光器 1(L₁)为本振激光器, 激光器 2(L₂)的输出频率由压电晶体微调腔长可在小范围内变化。两只激光器的输出经衰减片衰减后准直、同轴射入 HgOdT_e 外差探测器, 探测器的频率响应范围为 2~300 MHz。实验中用 TR4110/4111 频谱分析仪(日本菊水公司)测量、分析探测器的输出信号, 结果由 X-Y 记录仪记录, 一台频率计用于测量激光外差频率。

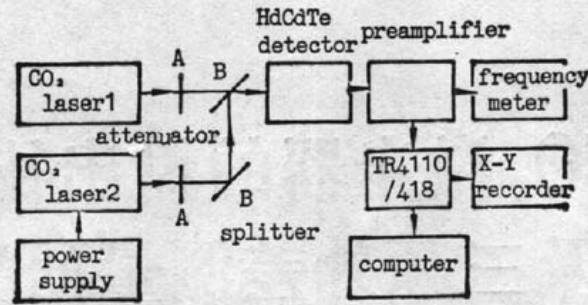


Fig. 1 Experimental setup

三、实验结果及分析

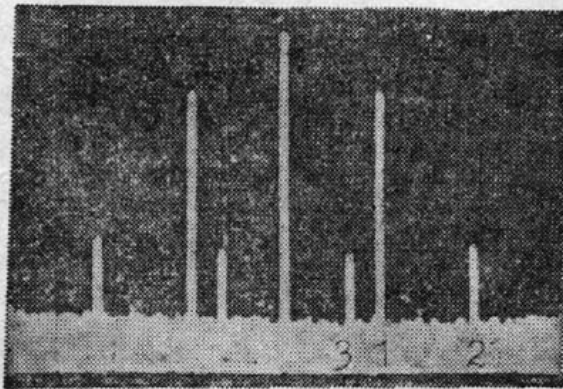
1. 双频 CO₂ 激光器输出模式特征

在本文的实验中,通过调节加在腔镜上的压电晶体的偏压,改变谐振腔中的激光振荡,实现激光输出模式的改变和激光振荡频率的调谐。在压电陶瓷不加任何偏压的情况下,激光器 L_2 稳定地运转于单横模状态,输出为 TEM_{00} 模;在压电陶瓷上加上适当的偏压,调节激光器的腔长,该激光器由单横模输出渐变为双横模输出。当偏压由 0 增大到 108 V 时,激光器仍为单模输出;电压增大到约 200 V 时,输出逐渐变为双模,分析激光远场光斑分布可知:此时激光器同时输出 TEM_{00} 和 TEM_{10} 模。继续增大偏压到 323 V 时,激光器又逐渐恢复到单横模状态。实验结果表明:该激光器在较大的调谐范围内,可实现双频(双模)输出。

2. 双频 CO₂ 激光器的频率特性及三频外差测量

在没有激光器 L_1 的情况下, L_2 入射到 HgCdTe 探测器,调节压电陶瓷的偏压,可以观察到一个稳定的中频信号,如图 2 所示,说明有频率不同的两束激光同时入射到探测器上。调节偏压,发现中频信号由小到大,再由大到小逐渐变化,直至消失,但中频频率保持不变,进一步说明了该激光器可实现双频输出。

图 3 是两束激光同时入射到探测器上所得到的三频外差结果,其中 R 是频谱仪的参考电平, S_1 、 S_2 、 S_3 为差频信号。设 L_2 的输出激光频率为 ν_1 、 ν_2 ($\nu_2 > \nu_1$), L_1 的输出频率为

Fig. 2 Autodyne frequency spectra of two-frequency CO₂ laser

1. autodyne frequency signal (33.2MHz);
2. double-frequency signal;
3. electric noise.

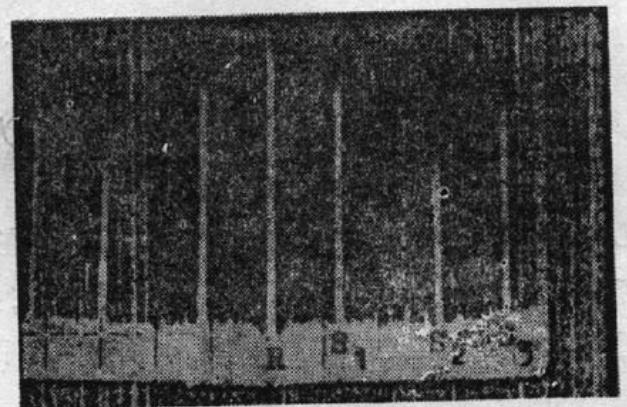


Fig. 3 Three-frequency heterodyne frequency spectra

。图中 S_1 、 S_2 及 S_3 的频率分别为 27 MHz、60 MHz 和 87 MHz。去掉偏压时, 只有 S_2 存在, 这正是普通的双管激光外差; 当偏压增大时, S_2 由大到小, 再由小到大; S_1 和 S_3 经历小到大, 大到小, 直至消失的过程。

为研究该激光器的频率稳定性, 在同样的实验条件下, 对激光器 L_2 单频和双频运转时与 L_1 的差频进行了测量。频率计积分时间为 10 sec, 采样间隔 60 sec, 频率计测量精度优于 1 kHz; 每 50 个数据为一组, 采用阿仑方差方法处理差频测量结果。结果得到: 在单频输出时, L_1 和 L_2 的差频稳定度为 500 kHz; 而 L_2 在双频运转时, 差频的稳定度优于 50 kHz。显然, L_2 在双频运转情况下, 其频率稳定度提高了一个数量级以上(激光器除了加冷却水之外, 均没有任何稳频措施; 作者预计在主被动稳频的基础上, 该激光器的频率稳定度还可以提高 1~2 个数量级)。

由稳定球面腔的模式间隔公式:

$$\Delta\nu_m = \left(\frac{c}{L\pi} \right) \cos^{-1} \sqrt{g_1 g_2}$$

对于 $g_1=1$, $R_2=12$ m, $L=70$ cm, 可得 $\Delta\nu_m=33$ MHz, 即激光器的双频间隔为 33 MHz。在双频状态时频率稳定度(ν_1 和 ν_2) 明显提高的原因, 可能是由于激光器的两个振荡模式之间产生相互作用, 从而出现“频率自锁”效应, 使得激光器的输出对环境等因素所造成的谐振腔的形变不敏感, 提高了激光器输出频率的稳定度。

应该指出的是: 分析结果 $\Delta\nu_m=33$ MHz 与图 2 符合得很好, 而与图 3 中的 27 MHz 有差别, 这是由于激光器两次充气所引起的, 即 $\Delta\nu_m$ 可能与充气气压有关。(两次充气的不同, 只是导致 $\Delta\nu_m$ 的差别, 而对器件的频率稳定度没有影响, 说明 $\Delta\nu_m$ 不仅与器件结构有关, 也和工作物质有关)。

3. 自差探测

在外差探测中, 一束激光要发射到空中, 由于大气传输的影响, 信号光与本振光的波振面失配成为一个严重问题。对于以发现目标为主要目的的探测系统, 若采用自差探测方式, 则基本上可以消除大气传输带来的影响^[3]。图 4 所示为改进的自差探测系统, 激光器发射双频激光, 将使探测系统大大简化和易于实现。频率为 ν_1 、 ν_2 的激光在大气中经过相同的路径, 因此易于在探测器表面实现波前匹配。

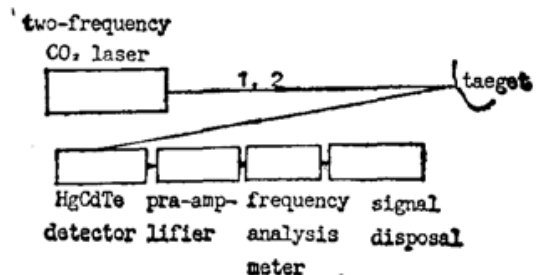


Fig. 4 Autodyne detection apparatus with two-frequency CO₂ laser

四、结 论

文中对固定谱线 CO₂ 激光器的双频输出现象进行了实验研究和分析, 分析与实验结果较好地吻合。利用该激光器实现了三频外差研究。

双频(双模)固定谱线 CO₂ 激光器的出现为相干激光雷达提供了优越的条件。它可以用于几乎所有需要相干探测的地方, 比常规的激光雷达性能有所提高, 将有广阔的应用前景。

文中所用的 CO₂ 激光器由机电部 12 所提供, 在此谨表谢意。

参 考 文 献

- [1] M. C. Teich, R. Y. Yen; *Appl. Opt.*, 1975, **14**, No. 3, 666.
- [2] M. C. Teich, R. Y. Yen; *Appl. Opt.*, 1975, **14**, No. 3, 680.
- [3] D. U. Fluckiger *et al.*; *Appl. Opt.*, 1987, **26**, No. 2,

Output characteristic of a two-frequency CO₂ laser and three-frequency heterodyne detection

JIA LIEJUAN, NAN JINGDA, FAN LIMING AND PI MINGJIA

(Department of Applied Physics, Harbin Institute of Technology, Harbin 150006, China)

(Received 11 December 1991; revised 7 May 1991)

Abstract

In this paper, experimental research and theoretical analysis for the phenomenon of two-frequency of a CO₂ laser with fixed spectral line are described. Using this CO₂ laser, the experiment of three-frequency heterodyning is successfully carried out.

Key words: CO₂ laser, three-frequency heterodyning, coherent detection.