

腔外多普勒频率调制激光稳频方法的研究

吴桂林 韩健德 徐绍华 杨维纲 郑丽华

(大连理工大学物理系, 大连 116024)

提 要

利用腔外气体吸收池内的 SF_6 分子饱和吸收线作为参考频率, 并通过振动腔外反射镜使进入吸收池的激光的频率受到多普勒调制, 实现了对 CO_2 激光 10P(16) 和 10P(18) 支线频率的闭环锁定, 最大频率漂移约为 7 kHz. 该法得到的稳频激光输出不仅无寄生频率调制和幅度调制, 并且可将激光频率锁定在独立的分子吸收线中心.

关键词 频率稳定, 多普勒效应, 饱和吸收.

1 引 言

随着科学技术的迅速发展, 激光稳频技术也得到了发展和完善. 在高精度激光稳频中, 为了得到误差信号, 通常需要在激光谐振腔上加一个正弦调制, 从而导致激光输出既受到频率调制又受到幅度调制. 对于高分辨激光光谱、激光频率测量和精密计量等应用这是不利的. 为了消除这种频率和幅度调制, 先后出现了斯塔克盒稳频技术^[1]、拍频稳频技术^[2]、法布里-珀罗干涉仪稳频技术^[3]等. 然而, 前两种技术装置复杂, 应用不方便, 后一种技术受温度等因素影响较大, 长期稳定性和复现性都较差. 腔外多普勒频率调制激光稳频方法是利用腔外吸收池内的气体分子饱和吸收线作为参考频率, 并利用往返运动反射镜使进入吸收池的激光的频率受到多普勒调制. 这种稳频方法排除了对内调制的需要, 并使稳定点不受激光参数的影响.

本文就是用上述腔外多普勒频率调制稳频法, 对 CO_2 激光 10P(16) 和 10P(18) 支线实现了闭环频率锁定.

2 实 验 装 置

所用实验装置如图 1 所示. 半内腔式 CO_2 激光器由曲率半径为 8 m 的金属基底原刻凹面光栅选择振荡支线, 并用石英玻璃作为腔间隔器. 谐振腔长为 1.18 m, 增益室总气压为 2266 Pa ($\text{CO}_2:\text{He}:\text{N}_2:\text{Xe}:\text{H}_2=1:6.7:2:0.3:0.05$). 从激光器输出的一部分激光被分束板分成强度比为 10:1 的两束光, 其中强光束经平面反射镜 M_1 和 M_2 后射向平面反射镜 M_3 . M_3 固定在电磁振荡器 EMV 上, 当 EMV 振动时, 经 M_3 反射的激光的频率被多普勒调制, 并直接进入 SF_6 气体吸收池作为饱和光, 而弱激光束经平面反射镜 M_4 反射后也进入吸收池作为探测光, 由刀口镜 M_5 反射至低温 HgCdTe 探测器. 吸收池长 1 m, SF_6 气体压强为 8 Pa, 两束光在池内的夹角为 2 mrad. 电磁振荡器的工作频率为 210 Hz, 产生的最大多普

收稿日期: 1991年7月15日

* 国家自然科学基金资助项目.

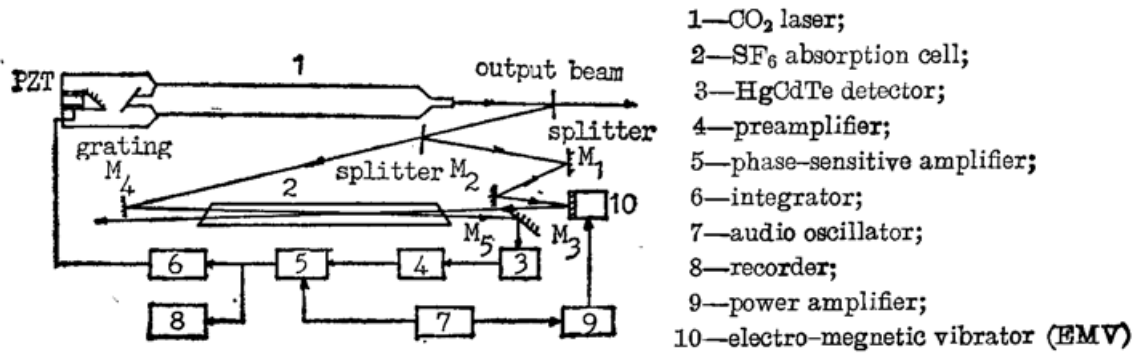


Fig. 1 Experimental setup

频率偏为 ± 150 kHz, 由 HgCdTe 探测器输出的信号经前置放大器和相敏放大器后得到误差信号, 再经积分放大器后加于光栅端压电陶瓷 PZT 元件上实现闭环锁定. 所用的激光电源的电流稳定度为 1×10^{-8} , 实验中采取了必要的防振和隔声措施.

3 实验结果及讨论

为了说明腔外多普勒调频方法的优点, 实验采用 512 Hz 内调制记录了 10P(18) 激光支线处 SF₆ 分子饱和吸收曲线及其所对应的一次微分曲线, 如图 2(a) 和 (b) 所示. 由于腔内频率调制伴随着激光增益曲线的幅度调制, 所以得到的鉴频曲线(一次微分曲线)含有激光功率曲线倾斜背景的贡献, 从而使鉴频曲线过零点偏离真正的分子吸收线中心.

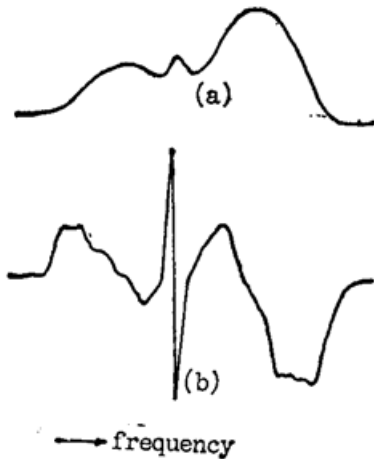


Fig. 2

(a) SF₆ absorption line shape and (b) the associated first-derivative-like line shape

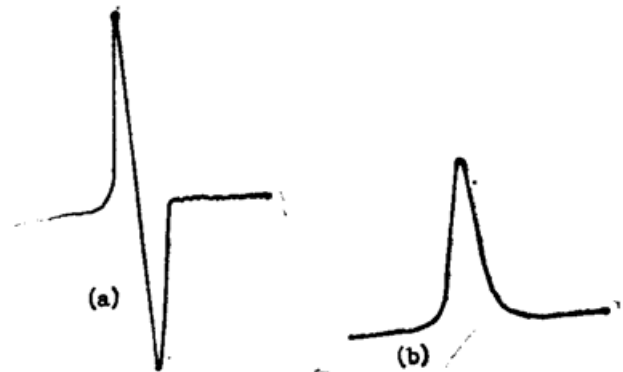


Fig. 3

(a) frequency discriminant curve and (b) the associated line shape obtained by graphical integration

振荡腔外反射镜 M₃, 使部分无调制激光输出经 M₃ 反射时受到多普勒频率调制, 在 210 Hz 处同步探测到的对应于 10P(18) 激光支线的 SF₆ 分子饱和吸收峰的一次微分信号如图 3(a) 所示, 它完全由吸收过程决定, 与受许多因素影响的激光增益曲线无关. 图 3(b) 为对图 3(a) 进行同步积分得到的饱和吸收峰. 所以, 这种方法探测到的饱和吸收峰位置与真正的 SF₆ 分子吸收线中心相一致, 激光频率的稳定点仅取决于吸收过程, 而在内调制情况下, 激光频率的稳定点取决于受多种因素影响的激光参数.

图 4 为将 CO₂ 激光 10P(18) 支线锁定在 SF₆ 分子饱和吸收峰中心处得到的漂移曲线, 20 min 内的最大频率漂移约为 7 Hz. 图 4 中频率移的近似估算方法是: 由 10P(16) 激

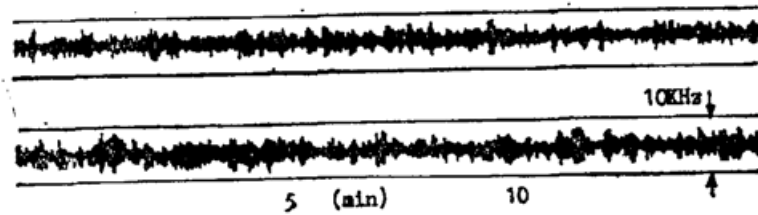


Fig. 4 Lock-in output while the laser is Doppler dither stabilized to the true absorption line center

光支线处两个相距 9.5 MHz 的 SF_6 分子吸收峰^[4] 确定 PZT 的灵敏度 490 kHz/V, 再由图 3(a) 所示的鉴频曲线得到其过零点附近线性部分的斜率为 1.7 mV/kHz, 并由最大电压漂移 (12 mV) 得到最大频率漂移 (7 kHz). 实验将 CO_2 激光 10P(16) 支线锁定到 SF_6 分子的不同吸收峰处时的频率漂移均小于 10 kHz.

结论: 本文描述的腔外多普勒频率调制稳频技术对参考频率在腔外的其它激光器稳频同样适用. 它与内调制稳频法比较有两个优点: 一是输出激光不含寄生幅度调制和频率调制; 二是可将激光频率稳定在独立的分子吸收线中心.

参加工作的还有周烟渚同学.

参 考 文 献

- [1] T. A. Nussmeier, R. L. Abrams, Stark cell stabilization of CO_2 laser. *Appl. Phys. Lett.*, 1974, **25**(10): 615~617
- [2] D. C. Wilson, W. R. C. Rowley, A method of producing an unmodulated laser output at controlled. *J. Scient. Instrum.*, 1966, **43** (5): 314~316
- [3] K. Tanaka, Method for stabilizing the frequency of an unmodulated laser output. *J. O. S. A.*, 1973, **62** (1): 24~29
- [4] B. Bobin, Ch. J. Bordé, J. Cordé, and Ch. Breant, Vibration-rotation molecular constants for the ground and ($v_3=1$) states of $^{32}\text{SF}_6$ from saturated absorption spectroscopy. *J. Mol. Spectrosc.*, 1987, **121** (1): 91

Study of laser frequency stabilization with external Doppler frequency modulation

WU GUILIN HAN JIANDE XU SHAOHUA YANG WEIFANG
(Department of Physics, Dalian University of Technology, Dalian 116024)

(Received 15 July 1991)

Abstract

By utilizing an external Doppler dither modulation scheme, the frequency of the CO_2 laser 10P(16) and 10P(18) lines are locked at the centers of the saturated absorption lines of SF_6 molecules in an external absorption cell. The locked laser has a frequency fluctuations of some 7 kHz. The locked laser output has neither parasitic frequency modulation nor parasitic amplitude modulation. The stabilized frequency is independent of laser operating characteristics.

Key words frequency stabilization, Doppler effect, saturated absorption.