

连续染料激光器的外腔稳频

Abstract: The frequency stabilization of dye laser is described. The laser frequency is stabilized to the side of a transmission curve of an optical cavity by means of the usual differential servo technique. With a PZT cavity mirror driven by fast servo electronics and a galvoplate driven by slow servo electronics, the linewidth of the jet stream dye laser is reduced to 1 MHz. Experimental result is presented on the measurement of saturation spectroscopy of sodium D_1 line.

一、引言

连续染料激光器因其波长连续可调,在激光光谱、激光化学以及激光同位素分离等获得了广泛的应用。但因染料喷流的不稳以及受外界振动、温度、市电等影响,频率稳定度较差。例如S-P380A 环形染料激光器及国内同类产品,取样时间小于1秒的峰峰频率波动约为20 MHz,1秒至3秒时为40 MHz,取样时间再长漂移更大。为提高其频率稳定性、压缩其线宽以满足高分辨激光光谱的要求,可把它锁频于一稳定的外部参考腔^[1]。

二、稳频原理及环路设计

稳频方块图见图1,其中所用外腔可以是低细度腔以得较大锁频同步能力,也可用高细度腔以得较高鉴频率并避免光强涨落的影响。染料激光器输出光束经分束后,一路经衰减由光电二极管 D_1 检测,另一路则经参考腔由 D_2 检测,差分放大后的输出作为伺服控制电压,对染料激光进行锁频。调节衰减器以调整 D_1 输出大小,可使激光器锁定于透过曲

号相除,是为避免光强涨落导致 D_2 输出变化造成的错锁。因染料激光器的透过光强度变化 dI , 导致频率的变化为:

$$d\nu = \frac{dI}{I} \left(\frac{\Delta\nu_{FPS}}{2} \right) \quad (1)$$

其中 I 为染料激光器最大透过光强, $\Delta\nu_{FPS}$ 为外腔透过曲线半高全线宽。例如实验用高细度外腔 $FSR=2\text{GHz}$, $\Delta\nu_{FPS}\approx 7\text{MHz}$, 低细度腔 $FSR=500\text{MHz}$, $\Delta\nu_{FPS}\sim 160\text{MHz}$, 如要求稳频后的频率涨落小于 0.1MHz , 从(1)式可知,用低细度腔,光强稳定性须优于 10^{-3} , 而用高细度腔则只需 2×10^{-2} 即可。实际喷流连续染料激光器光强涨落可高达 10^{-1} , 故稳频环路必须用差分(或除法器)消除光强涨落。由于染料激光器光强涨落频谱较宽^[2], 故差分放大器也应是宽带工作的。且前级放大还必须是低噪声、低漂移的, 否则其噪声和漂移将直接造成稳频激光器输出频率不稳。为正确设计锁频环路,还必须了解激光器频率涨落的频谱分布,对S-P380A 测量结果如图2所示。其频谱分布较宽,但主要是 10kHz 以下的频率抖动。利用压电陶瓷作为控制元件, 环路带宽可定为 10kHz 。

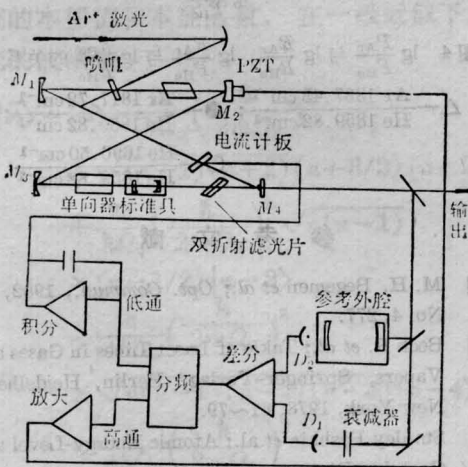


图1 染料激光外腔稳频方块图

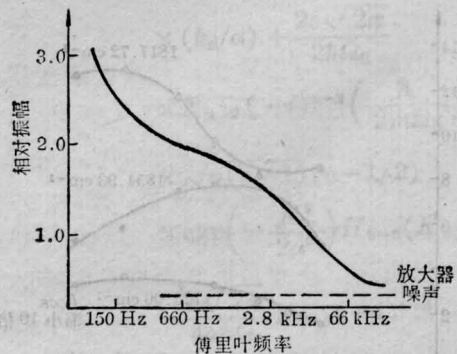


图2 S-P380A 的频率涨落谱分布

线一侧所需频率上。采用差分比较或使二路检测信

环路由快环、慢环并联组成,前者以激光腔的压电陶瓷驱动的腔镜 M_2 为控制元件, 伺服激光频率

的快速涨落；后者以插入腔内的电流计驱动石英平板为控制元件，克服激光的低频涨落和漂移。因染料激光频率漂移极大，PZTM₂腔镜是无法满足其伺服要求的。电流计驱动平板响应虽慢，但有较大伺服能力，二者结合可互相弥补。采用二环并联工作还有利于提高环路的增益及稳定性，实验结果表明并联工作下，慢环增益可提高3~5倍，理论分析参考^[3]。

设计的慢环截止频率小于500 Hz，简化方块图如图3所示。如取积分时间常数 $\tau=10^{-2}$ 秒，为防止环路自激，环路放大器增益K应满足：

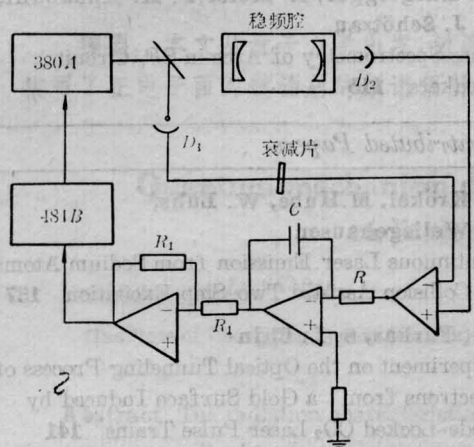


图3 慢环简化方块图

$$K \cdot \frac{1}{j\omega RC} \cdot K_v \leq 1 \quad (2)$$

其中 K_v 为电流计平板压控效率，经测量 $K_v=0.78$ MHz/mV，故 $K \leq 4$ mV/MHz，由于入射光强度随波长不同约有一个量级的变化，且二环并联工作后增益还可有所提高，所以放大器增益应留有足够富裕量以便适当调整。

设计的快环应有较大的伺服带宽，作为伺服控制元件的PZT镜的动态性能十分重要，它不仅应有较高压控效率还应有较高自振频率。用管长8 mm、 $\phi 8$ 的PZT管外贴厚6 mm镜片，压控效率约为1.2

MHz/V。环路带宽约4 kHz，以 $\phi 10$ 厚1.5 mm的PZT片外贴1 mm厚镜片，压控效率约为0.3 MHz/V，环路带宽可达10 kHz，基本满足快速伺服要求。

三、结果

经稳频后激光频率的稳定性可用另一台高细度扫描干涉仪作鉴频器进行测量。测试结果表明，稳频后短期频率涨落峰峰值可小于1 MHz，用低细度腔作参考腔时，它主要由光强涨落所致，而以高细度腔作参考时则主要来自其自身的涨落。我们还以稳

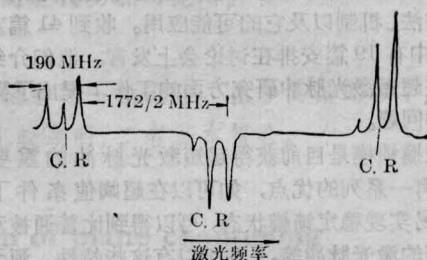


图4 用稳频染料激光所记录的²³Na原子D₁线
扫频速率40 MHz/s

频激光作钠原子高分辨饱和吸收谱验证其性能，结果见图4；不仅多次扫频记录的光谱重复性很好，且分辨力也得到了提高，从图可清楚分辨D₁线高激发态的超精细分裂(190 MHz)，且其间共下能级的交叉信号也清晰可辨，线宽约小于20 MHz，主要是激发态寿命及饱和增宽所致。

工作中曾得到王永达、刘宝顺、王庆吉、胡远晖等同志大力帮助，在此深表谢意。

参考文献

- [1] 傅济时；《物理》，1983，12，100.
- [2] J. Hall et al.; *Journal de Physique*, 1981，42，C8-59.
- [3] 傅济时；(待发表)

(北京大学无线电电子学系 傅济时
1984年7月5日收稿)