

连续可调谐 $1.52\mu\text{m}$ He-Ne 横向 塞曼稳频激光器

赵家淇 安家鸾 曹建平 刘汉田 李银珠
(中国计量科学研究院, 北京)

提 要

研制成横向磁场中全内腔单模 $1.52\mu\text{m}$ He-Ne 激光器。提出了一种在锁定情况下, 激光频率沿最佳 S 曲线连续调谐的方法。采用这种方法, 激光频率在较宽范围内调谐, 均达到较高频率稳定性。适于作单模光纤通讯的相干光源。

关键词: 横向塞曼稳频激光器; 连续可调谐激光器; $1.52\mu\text{m}$ He-Ne 激光器。

一、引 言

低损耗 $1.5\mu\text{m}$ 波段单模光纤通讯是急待开发的项目, 它要求激光频率在大于 70MHz 范围内连续调谐时, 相对频率稳定性均在 $10^{-10}\sim 10^{-11}$ 量级。迄今报道的 $0.633\mu\text{m}$ He-Ne⁰ 塞曼稳频激光器都是通过改变磁场的方法实现激光频率连续调谐^[1~3]。这种方法不仅频率稳定性低, 而且在调谐过程中发生明显变化, 满足不了实用要求。通过分析和实验研究, 作者提出了一种在锁定情况下激光频率可以沿最佳 S 曲线连续调谐的方法, 在较宽范围内, 均保持较高的频率稳定性。

二、全内腔单模塞曼激光器

$1.52\mu\text{m}$ He-Ne 激光对应 $2S_2-2P_1$ 跃迁。为了获得低噪声、单谱线激光振荡和最佳功率输出, 总气压 8Torr , 充气比 $11:1$, 腔长 250mm , 放电电流 $4\sim 5\text{mA}$ 。激光管采用同轴阴极平凹腔结构, 凹镜曲率半径 1.2m , 反射率 99% ; 平面镜的反射率为 98% 。

塞曼激光器由激光管、偏振棱镜、光电转换器和磁场组成。磁场可以在 $30\sim 160\text{Gauss}$ 间调节, 还可以更换不同尺寸磁铁, 扩大磁场范围。

三、色散特性

在横向磁场中, 全内腔 He-Ne 激光器的 π 和 σ 偏振光的频差 f 由腔的自然各向异性、腔长、激活介质磁感应双折射和饱和辐射场感应双折射决定。 f 随腔失谐的关系近似由下式描述:

收稿日期: 1987年5月14日; 收到修改稿日期: 1987年8月26日

$$f(x) = f_0 \cos 2\theta + f_1(x), \tag{1}$$

式中 f_0 是常数, 由腔镜各向异性决定, θ 是其主轴与磁场方向的夹角。

根据半经典三阶理论和电场矢量模型, $f_1(x)$ 由下式决定^[4]

$$f_1(x) = \sigma_x - \sigma_y + \rho_x E_x^2 - \rho_y E_y^2 + \tau_{xy} E_x^2 - \tau_{yx} E_y^2. \tag{2}$$

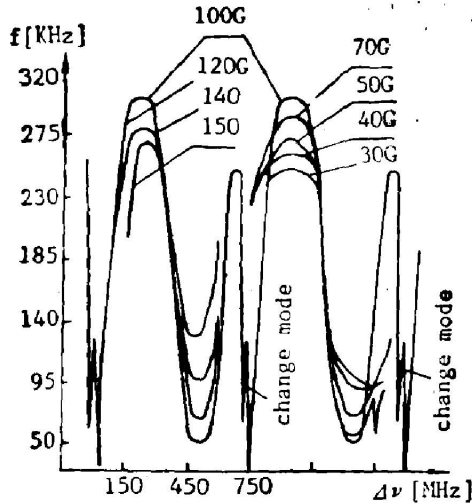


Fig. 1 The experimental curve of beat frequency between π and σ polarization during cavity tuning

当 $\theta = 0$ 或 $\frac{\pi}{2}$ 时, 在一定磁场范围内, $f(x)$ 呈 S 型或倒 S 型。图 1 表示实验测出的以磁场强度为参数的 $1.52 \mu\text{m}$ He-Ne 横向塞曼激光器的 S 曲线 (对 100 Gauss 磁场连续测量两个模间隔, 大于和小于这个磁场的 S 曲线分别记录在左边和右边)。它们具有典型的色散特性, 利用这种特性可以实现无调制稳频, 而且不受光强起伏的影响。从图也可以看出, 如无高阶横模, 则为单纵模运转, 在换模点之间有完整的色散线形。100 Gauss 的 S 曲线幅度最大 (约 260 kHz); 调谐范围最宽, 极点间宽度约 200 MHz; 斜率最陡, 约 $(0.17 \sim 0.20) \times 10^{-3}$ 。显然, 把激光频率锁定在这条曲线中部区域的任意点, 将获得较高的频率稳定性, 而且调谐范围最宽。因此, 称为最佳 S 曲线。对应的磁场称作最佳磁场, 它有约 20 Gauss 的不敏感区域, 激光器工作于这个区域, S 曲线斜率没有明显变化。

四、塞曼激光稳频器

稳频是通过把 π 和 σ 偏振光间的拍频频率转换成电压后再与参考电压进行比较的方法实现的。装置方框图如图 2 所示。激光器输出的相互正交的两束线偏振光经 45° 偏振棱镜和光电转换器之后获得拍频信号, 它与参考电压在 F/V 变换器内进行比较, 输出误差控制信号, 经控制器和 PZT 驱动器作用到执行元件 PZT 上, 补偿激光频率起伏。

控制器采用多路分频控制, 它在很大程度上改善了激光频率的短期稳定性和长期漂移。连续调节参考电压, 则 f 、 γ_x 和 ν_x 将沿最佳 S 曲线连续变化。扫描器用于开环情况下测量图 2 的色散特性, 确定最佳磁场和最佳 S 曲线。

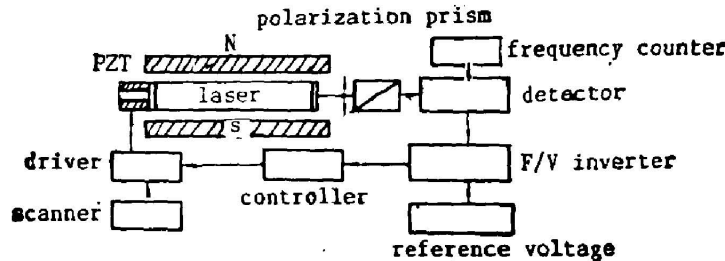


Fig. 2 Block diagram of Zeeman frequency stabilizer

五、激光频率调谐性和稳定性实验

实验装置如图 3 所示。激光器 1 和 2 是图 2 所示的塞曼稳频激光器, 它们各自谐振腔的自然各向异性主轴平行于磁场方向放置, 偏振棱镜隔离激光器 2 的 σ 偏振分量, 这样, PIN 光电二极管输出信号的频率则是两台激光器 σ 偏振光的频差 $\Delta\nu_{12}$ 。 $\Delta\nu_{12}$ 用微机控制进行采样测量。

为了测定激光器 2 的调谐性, 把激光器 1 锁定在谱线中心附近 ν_1 处, 改变激光器 2 的输出频率 ν_2 , 测量对应的各个频差 $\Delta\nu_{12}$, 可以得到激光器 2 的失谐频率 $\Delta\nu_2$ 。 $\Delta\nu_2 = \Delta\nu_{12} - \Delta\nu'_{12}$ ($\Delta\nu_{12} = \Delta_2 - \Delta_1$, $\Delta\nu'_{12} = \nu'_2 - \nu_1$, ν'_2 是激光器 2 的谱线中心频率)。在锁定情况下, 激光器 2 的自拍频率 f_0 从 55 kHz 变化到 300 kHz 时, ν_2 改变 200 MHz。

把偏振棱镜转动 $\pi/2$, 则 ν_2 表示 σ 偏振光的频率。

激光相对频率稳定性用阿仑标准差表示如下:

$$\sigma(2, \tau) = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{1}{\nu_0} \left[\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} \frac{(\Delta\nu_{i+1} - \Delta\nu_i)^2}{2} \right]^{1/2}, \quad (3)$$

式中 $\Delta\nu_i = \Delta\nu_{12}$, $\nu_0 = \nu'_2$, τ 是取样时间, N 是取样次数, $\sqrt{2}$ 是折算到一台激光器引入的。

激光器的频率稳定性测量结果如表 1 所示。在失谐 $x=0$ 点 (对应 $f(0) = 170 \text{ kHz}$), (2) 式诸系数等于零, 磁场强度和放电电流等参数的起伏对稳定性没有影响, 频率稳定性最高。在 $x \neq 0$ 点, 由于 (2) 式诸系数不等于零, 频率稳定性有所降低, 并且随 x 增加而加大。当 $\Delta\nu_2$ 从 -41.9 MHz 调谐到 64.2 MHz 时, σ 变化不超过一倍, 即沿最佳 S 曲线中部区域连续调谐 106 MHz, 激光频率稳定性都较高。

Table 1 The measurement result of frequency stability

τ [S]	0.64	0.25	0.43	0.25	0.37	0.64
f_0 [kHz]	100	160	170	210	250	270
$\Delta\nu_2$ [MHz]	-41.9	-4.8	0	23.9	48.8	64.2
σ [$\times 10^{-11}$]	5.7	4.1	3.0	3.6	4.3	4.5

六、讨 论

增加 f_0 有利于获得完整色散线型, 减少自拍波形畸变和零拍区。缩短腔长可以增加 f_0 , 对腔长分别为 350 mm、280 mm 和 250 mm 的激光器进行实验, 随腔长增加 f_0 降低, 观察到零拍区扩大并且在自拍频率 f 较低时拍频波形畸变, 影响频率稳定性, 因此, 腔长选为 250 mm。 f_0 还与谐振腔的自然相位各向异性有关, 它取决于端镀膜层性质、基片所受应力

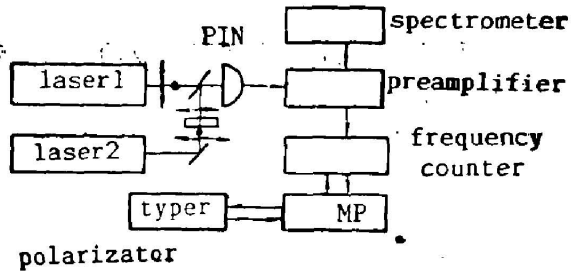


Fig. 3 Block diagram of beat frequency experiment

和两个端镜的相对取向。激光器 2 的自然相位各向异性是 0.87×10^{-3} rad。

上述在自拍频率 f 较低时影响频率稳定性的现象, 可以用 π 光和 σ 光间的竞争效应定性解释。从兰姆理论双频激光自治场光强方程中的耦合项看出, 一个分量的增益饱和会使另一个分量的增益降低, 甚至抑制到损耗线以下。这种效应表明实际上存在一个临界频率, 高于这个频率, 激光振荡比较稳定。激光器 2 的 π 和 σ 偏振光间的临界频差约为 50 kHz。

本文所提出的方法和作者研制成功的塞曼激光稳频器同样适用于 He-Ne 0.633 μm 谱线或其它谱线的塞曼激光器。

感谢北京邮电学院吴彝尊教师和管克俭同志的协助和支持。

参 考 文 献

- [1] R. H. Morries; *Appl. Opt.*, 1975, **14**, No. 13 (Dec), 2808.
- [2] N. Umeda; *Appl. Opt.*, 1980, **19**, No. 3 (Feb), 442~450.
- [3] 巴恩旭等;《光学学报》, 1984, **4**, No. 5 (May), 398~405.
- [4] 巴恩旭等;《物理学报》, 1984, **33**, No. 4 (Apr), 496~506.

Continuous tunable frequency-stabilized 1.52 μm He-Ne transverse Zeeman laser

ZHAO JIAQI, AN JIALUAN, CAO JIANFENG, LIU HANTIAN AND LI YINZHU
(National Institute of Metrology, China, Beijing)

(Received 14 May 1987; revised 26 October 1987)

Abstract

A 1.52 μm single-mode He-Ne laser with internal mirror in transverse magnetic field have been successfully developed. A method is suggested that laser frequency on locking condition can be continuously tuned along optimal S type curve. By this method laser frequencies have been obtained with a relative frequency stability in the order of 10^{-11} , sample time of 0.1~1S and over a wide range (100 MHz). It can be used as a optical source in the single-mode fibre communication.

Key words: transverse Zeeman frequency-stabilized laser; continuous tunable frequency-stabilized laser; 1.52 μm He-Ne laser.