

# 峰值稳频横向塞曼 He-Ne 激光器

李 康 循

(陕西机械学院 精仪系, 西安 710048)

## 提 要

本文主要介绍一种峰值稳频横向塞曼 He-Ne 激光器。实验发现激光器输出相互垂直振动的光拍频率的最大值对应激光器增益轮廓中心。利用调制的方法将激光器输出激光的频率稳定在增益轮廓中心。与国家计量测试研究院的碘吸收稳频标准激光器拍频, 频率稳定度为  $1 \times 10^{-9}$ 。

关键词: 峰值, 稳频, 横向, 调制。

## 一、引 言

横向塞曼激光器作为一种新颖的激光源, 已展示出很多优越性。为了稳定可靠地进行精密测量, 横向塞曼激光器的稳频一直是激光应用领域中的主要研究课题。以往的稳频基准通常是外部基准, 只能稳在偏离拍频信号最大值的一侧, 根据对腔长为 250 mm 充自然氖的市售激光管的实验, 这种稳频也只能将频率稳在偏离增益轮廓中心的一侧。本文主要介绍一种在腔长为 230 mm~1300 mm 的全内腔式激光器上利用粘接在腔上的压电陶瓷调制, 并用热丝和压电陶瓷进行稳频的激光器, 这种稳频方法简单易行, 造价低廉, 以激光器本身特征为基准, 可以将激光器的频率稳在增益轮廓中心。经过同国家的碘稳频标准激光器拍频, 频率稳定性为  $1 \times 10^{-9}$ , 可连续工作八小时以上。

## 二、横向磁场中的 He-Ne 激光器特性

当激光器处于横向磁场中时, 塞曼效应导致氖原子发生跃迁的上下能级的分裂, 发生激光的塞曼频移, 而且为  $\pi$  和  $\sigma$  两种偏振态。塞曼频移  $\Delta\nu_s$  随磁场的增强而加大, 当达到模间隔  $\Delta\nu_L$  时, 发生了模结构的崩溃, 相邻模的能量集中到一个模上, 实现了大功率单模运转, 这时所加的磁场称为特征磁场

$$B_t = \frac{ch}{2g\mu_B L}, \quad (1)$$

式中  $c$  为光速,  $h$  为普朗克常数,  $g$  为朗德因子,  $\mu_B$  为玻尔磁子,  $L$  为腔长。未加磁场和加特征磁场后的增益轮廓情况示于图 1。随磁场的增强, 增益轮廓曲线变狭, 在特征磁场情况下形成平顶状的单模区, 在该区间内只出现单一模, 且模的高度不变。由于介质对  $\pi$  和  $\sigma$  分量的折射率不同及腔端的双折射等原因形成二者的频差, 从应用的角度看可以认为横向塞曼激光器发射互相垂直振动的线偏振光,  $\pi$  分量平行于磁场方向,  $\sigma$  分量垂直于磁场方向。其频

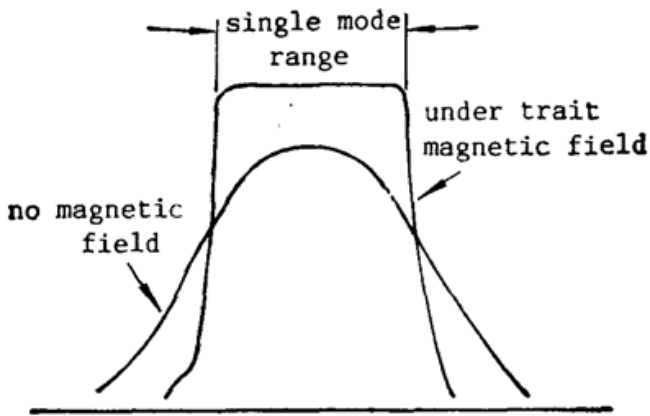


Fig. 1 Gain profile under trait magnetic field and no magnetic field

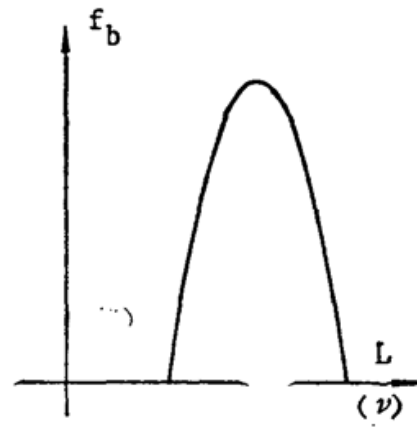


Fig. 2 Change of beat frequency with cavity length

差随激光器结构的不同为几十到几百 kHz。由于用了(230~300)mm 的激光管, 2~3 个纵模发生了简并, 能量集中到单一模上, 输出功率可在 2mW 以上, 输出激光的偏振态好, 容易将两种频率的光分开。由于拍频频率低, 很容易实现高精度相位细分或倍频细分。输出功率大, 有利于多维测量用。可以说横向塞曼激光器除了测量位移速度受到限制外, 均优于纵向塞曼激光器。

使横向塞曼激光器输出的光通过偏振方向与光振动方向成  $45^\circ$  的检偏片后发生拍频, 观察改变腔长时拍频信号的变化, 可以作出横向塞曼激光器的拍频调谐特性曲线, 对于充自然氖的激光器, 其拍频特性呈倒 V 形。如图 2 所示。对于充同位素氖的激光器, 其拍频特性呈 S 形<sup>[8]</sup>。

### 三、充自然氖激光器的拍频调谐特性曲线峰值位于增轮廓中心

将 He-Ne 激光器置于横向特征磁场中, (实验中用 300 Gauss), 用扫描干涉仪来观察激

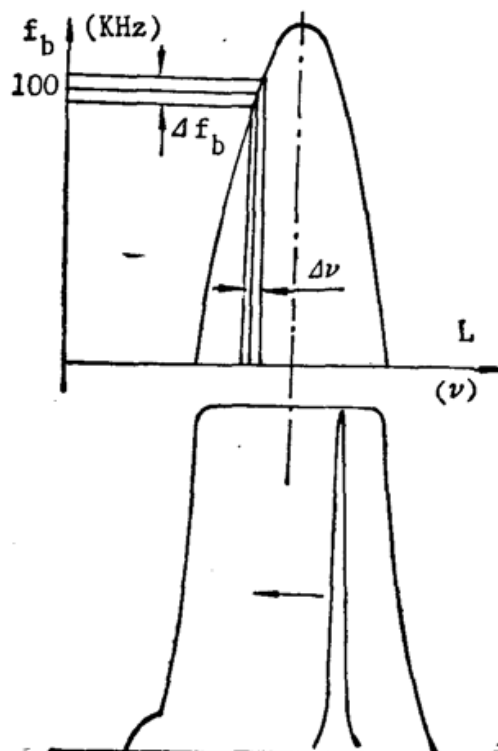


Fig. 3 Peak of the Laser's beat frequency is located at the centre of gain profile

光器输出, 可看到平顶状的单模区内有一个模, 这时给激光管均匀加热, 可看到该模缓慢地从右向左移动, 同时由示波器和频率计来观察拍频频率  $f_b$  的变化, 可发现  $f_b$  由低变高, 当该模移动到平顶区中心, 也就是对应增益轮廓中心时,  $f_b$  为最高, 应该模移过中心后,  $f_b$  变低, 这说明  $f_b$  的峰值对应该单模位于增益轮廓中心位置, 如图 3 所示。如果能把  $f_b$  稳定在峰值, 就能把模稳在增益轮廓中心, 也就把激光频率稳定在增益轮廓中心。

## 四、稳频原理与方法

### 1. 原理

由图 3 可知拍频调谐曲线的峰值位于增益轮廓中心, 如果将腔长调制, 那么增益轮廓内的模就会以调制频率抖动, 拍频调谐曲线就会抖动, 经  $f \sim V$  变换后的电压轮廓形状和调谐曲线相同,  $f_b$  的峰值对应  $f \sim V$  变换后的电压峰值, 当  $f_b$  偏离峰值位于左侧时, 可得到一个正弦信号, 当  $f_b$  偏离峰值位于右侧时, 可得到一个和左侧相比相位差  $\pi$  的正弦信号, 而位于峰值时, 得到一个频率为调制频率两倍的交变信号。如图 4 所示, 这种信号经相敏整流后会得到正、负和零的直流电压, 用相敏整流后的电压经放大后分别控制绕在激光管上的热丝和粘在激光管上的压电陶瓷来控制激光管的腔长, 就能把激光频率稳定在增益轮廓中心。

### 2. 方法

如图 5 所示, 将压电陶瓷粘接在激光器上, 把振荡器输出的振荡信号加到压电陶瓷上, 用来调制激光管的腔长, 达到调制拍频频率  $f_b$  的目的, 激光器输出的激光经  $45^\circ$  检偏镜后, 由光电接收器接收, 经  $f \sim V$  变换, 滤波放大, 相敏整流, PI 调节, 放大后, 同时加到热丝及压电陶瓷上, 热丝作为大范围腔长控制, 而压电陶瓷既作为调制又作为小范围内高精高腔长控制, 从而实现峰值稳频。

这里所用的是 (230~300)mm 充自然氖的全内腔市售激光管。为了尽快接近热平衡状态, 在开环情况下, 加入较大恒定预热电流, 加热半小时左右, 实现闭环, 可使稳频状态持八

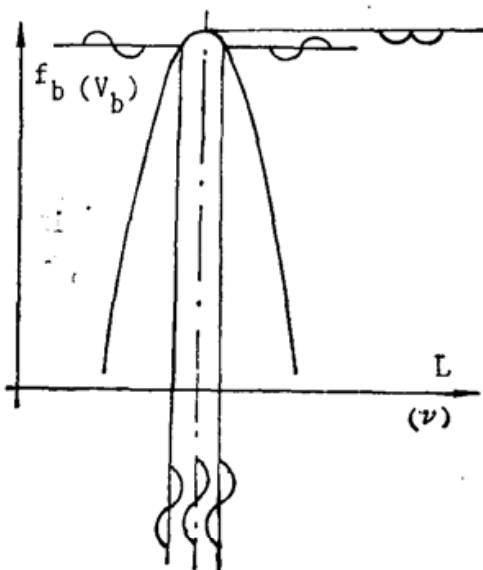


Fig. 4 Stabilizing frequency of the Laser at the centre by frequency modulation

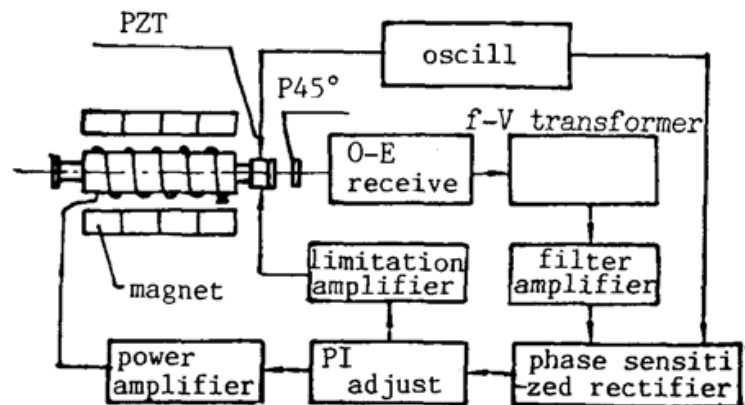


Fig. 5 Schematic diagram of the peak frequency stabilized transverse Zeeman Laser

小时以上。

## 五、稳频精度

接通电源, 点亮激光管, 加预热电流, 半小时后闭环, 10 秒采样, 连续测得一小时拍频频率  $f_b$  的变化, 由均方差公式

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (2)$$

计算拍频频率的波动, 然后根据由图 3 所示的倒 V 形曲线在 100 kHz 的地方所确定的斜率

$$\frac{\Delta\nu}{\Delta f_b} = 1.24 \times 10^3, \quad (3)$$

来估算光频的波动, 频率稳定度高于  $1.2 \times 10^{-9}$ 。用峰值稳频横向塞曼激光器与国家计量测试研究的碘吸收标准激光器拍频, 测试结果, 频率稳定度为  $1 \times 10^{-9}$ , 波长不确定度为  $4 \times 10^{-8}$ 。

## 参 考 文 献

- [1] 巴恩旭, 杨性愉, 沈寿春; 《物理学报》, 1984, **33**, No. 4 (Apr), 496.
- [2] N. Umeda, M. Tsukiji *et al.*; 《Appl. Opt.》, 1980, **19**, No. 3 (Feb), 442.
- [3] 巴恩旭, 杨性愉, 刘玉照, 关信安; 《光学学报》, 1984, **4**, No. 5 (May), 393.

## Peak frequency stabilized transverse zeeman He-Ne laser

LI KANGXUN

(Shanxi Institute of Mechanical Engineering, Xian 710048)

(Received 23 May 1990; revised 18 July 1990)

### Abstract

A peak frequency stabilized transverse zeeman He-Ne laser is reported in this paper. As a result of experiments we found that the maximum value of the laser's beat frequency of the vertical vibration corresponds to the centre of gain profile of the laser. Based on this specific property, the laser frequency can be stabilized at the centre of gain profile. Comparing with the iodine absorbing stabilized frequency standard laser national standard by the method of beat frequency, we found the frequency stability of this laser is  $1 \times 10^{-9}$  and it can work continuously over eight hours.

**Key words:** peak, stabilized frequency, transverse, frequency modulation.