

双折射双频激光器增益曲线对稳频的影响

李克兰 张书练

(清华大学精仪系, 北京, 100084)

摘要: 本文分析了双折射双频激光器增益曲线的特点, 增益曲线影响频率稳定性, 比较了不同比例的 Ne^{20} 和 Ne^{22} 形成的增益曲线, 通过分析和实验获得最佳的 Ne^{20} 和 Ne^{22} 的比例, 实验结果改善了频率稳定度。

关键词: 双折射双频激光器 增益曲线 Ne^{20} 和 Ne^{22} 比例 稳频

Influence of gain curve on frequency stability in birefringent double frequency laser

Li Kelan, Zhang Shulian

(Dept. of Precision Instruments, Tsinghua University)

Abstract: The birefringent double frequency laser is a newly developed laser, its difference of frequencies is wider than convention double frequency laser, up to hundreds megahertz. It is important to select proper frequency stabilization methontology, and the frequency stabilization methods suffer from the effecting of the gain curve properties. In this paper, the analysis on the characterisicts of gain curve of a inside birefringent double frequency He-Ne laser is presented. Selecting the ratio $\text{Ne}^{20} : \text{Ne}^{22}$ can change the gain curve. In terms of the experiments and calculating, the optimum ratio of $\text{Ne}^{20} : \text{Ne}^{22}$ is 53:47, and the gain curve has beter symmetry, the peak point of the curve can be selected to be the frequency control operation point.

Key words: birefringent double frequency laser gain curve the ratio between Ne^{20} and Ne^{22} frequency stability

一、引言

双折射双频 He-Ne 激光器是我们研制的新型激光器, 它的频差可从数十兆赫到数百兆赫, 比传统塞曼效应的双频激光器频差宽。

我们的激光器已获得美国专利。为使其更好应用, 必须改善其频率稳定性, 我们研究了影响频率稳定性的诸多因素, 其中影响的因素之一就是增益曲线的问题, 本文就此问题进行简介和讨论。

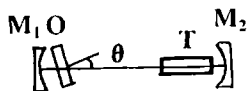


Fig.1 The quartz
in a cavity

二、双折射双频激光器增益曲线的特点

在 He-Ne 激光谐振腔内插入石英晶片, 由于石英晶体双折射效应使 o 光和 e 光在谐振腔内传播时虽然几何腔长同样长, 但物理腔长对两种光不一样, 输出两个正交线偏振模, 我们称为双折射双频激光器, 其原理示意图如图 1 所示, 可参见文献[1]。

塞曼效应的双频激光器是由于加上纵向磁场,光谱线发生塞曼分裂,激光器输出的是左旋和右旋圆偏振光,两种双频激光器有根本差别。虽然两种双频激光器稳频时都采用电子伺服控制技术控制激光器腔长,但稳频系统中选频放大的误差反馈信号来源却有很大差别。

塞曼效应双频激光器稳频时将频率稳定工作点保持在光强调谐曲线上右旋与左旋圆偏振光光强相等的地方,取出二模光强差为误差反馈信号,因为塞曼双频激光器不仅光谱线发生分裂,而且增益曲线也发生分裂,左右旋圆偏振光有各自的增益曲线,当频率工作点偏离等光强工作点时,误差信号灵敏使稳频系统易判别。而双折射双频激光器不存在增益曲线分裂, o 光和 e 光二个模共有一条增益曲线,等光强工作点不灵敏地反映误差信号,故不适于选为稳频工作点。

和传统单纵模单横模激光器比较,此种激光器常用兰姆凹陷的增益曲线,稳频工作点选在增益曲线中心。激光增益管内充单同位素 Ne, 而双折射双频激光器是双纵模工作,且从使用上要把双折射双频激光器当作一个角度传感器用^[2]。腔内石英晶片当作一个传感元件,要使石英晶片在谐振腔内随待测物体的旋转而旋转,输出的 o 光与 e 光两纵模频差随石英晶片转动而变化,由频差变化而感知物体转角变化。因此工作时频差不随塞曼双频激光器频差改变。也不同于兰姆凹陷的单模激光器,双折射双频激光器虽然把频率稳定工作点选在光强调谐曲线的中心,但分裂的 o 光与 e 光二模是处于光强曲线的两侧。如果增益管中充入单同位素,我们可以观察到模竞争行为^[3],特别当频差较小,两模靠近时这种竞争还是强烈的。有兰姆凹陷的增益曲线对我们是不适合的,我们一方面要采用极值点稳频方法,但极值点又不是模竞争点,因此无论是理论分析或实验观察都说明要稳频就要有一条适合于双折射双频激光器的增益曲线。单同位素 Ne 不行,天然氖也不行,因为天然氖中双同位素含量比 $Ne^{20}:Ne^{22}=91:9$ 这种气体成分充入增益管中,其小信号增益曲线是不对称的, Ne^{22} 的增益曲线偏在高频边,这将影响到 o 光与 e 光的光强相差较多,且光强差随频差变化而变化,不利于应用。

三、双折射双频激光器适合的增益曲线

为了改变双折射双频激光器的增益曲线要研究同位素 Ne^{20} 和 Ne^{22} 的比例,以适应稳频工作。

众所周知, Ne^{20} 和 Ne^{22} 原子质量有差别,这个差别导致它们的多普勒展宽不等, Ne^{20} 的多普勒展宽为 ku_{20} , Ne^{22} 的多普勒展宽为 ku_{22} , 由于多普勒展宽反比于原子质量的平方根,所以 Ne^{20} 的多普勒展宽将大于 Ne^{22} 的,

$$\text{即} \quad \frac{ku_{20}}{ku_{22}} = \sqrt{\frac{22}{20}} = \sqrt{1.1}$$

令 ω_0 为 Ne^{20} 线型函数的中心频率; $\tilde{\omega}_0$ 为 Ne^{22} 线型函数的中心频率; 对 $\lambda = 0.6328\mu\text{m}$, 跃迁则有

$$\frac{\tilde{\omega}_0 - \omega_0}{2\pi} \approx 875\text{MHz}$$

说明 Ne^{20} 与 Ne^{22} 的线型函数的中心频率分隔开为 875MHz 左右。

又令 Ne^{20} 的频率参量为 $\xi = (\omega - \omega_0)/(ku_{20})$, 其中 ω 是激光器增益曲线上任一点的频率。

当 $\omega = \omega_0$ 时 $\xi = 0$, 即在 Ne^{20} 线型函数中心频率处。

又令 Ne^{22} 的频率参量为

$$\tilde{\xi} = (\omega - \tilde{\omega}_0) / (ku_{22}) = \sqrt{1.1}(\xi - \tilde{\xi}_0)$$

$$\tilde{\xi}_0 = [(\tilde{\omega}_0 - \omega_0) / (ku_{20})]$$

是双同位素的频率间隔与 Ne^{20} 多普勒展宽比值。

对波长 $0.6328\mu m$ 的跃迁 $\tilde{\xi}_0 = 0.88$ 。当增益管中充入双同位素, 令 Ne^{20} 含量占的百分比为 F 时, 则 Ne^{22} 占的百分比为 $(1 - F)$, 由于 Ne^{22} 的多普勒展宽 ku_{22} 要窄一些, 如果混合 Ne^{22} 和 Ne^{20} 双同位素共同组合的小信号增益曲线为 $G(\xi)$, 以 $G(\xi)$ 为纵坐标, 以频率参量 ξ [$\xi = (\omega - \omega_0) / (ku_{20})$] 为横坐标。当等比例混合 Ne^{20} 和 Ne^{22} 时, 记录仪记下的光强调谐曲线 (即用锯齿波直流电压源驱动腔镜上粘附的压电陶瓷时, 线性地调节腔长记录光强曲线) 可以看到光强曲线比天然氖的光强曲线大大改观, 但仍有不对称性, 也就是通过光强调谐曲线可以推论增益曲线仍然是不对称的。

通过实验及估算, 将 Ne^{20} 的含量增加到 $F = 0.53$ 左右, 即 Ne^{20} 和 Ne^{22} 二者含量比为 53:47 时, 光强调谐曲线可以比较对称。见图 2。图 2 的纵坐标是增益曲线, 横坐标是频率参量 ξ , 当 $\xi = 0.44$ 处, 就是对应增益曲线中心的频率处, 这个点对应增益曲线的峰值, 当选此点为频率稳定工作点时, 用极值法稳频系统工作, 既可以避开模竞争, 又可以使 o 光与 e 光的光强差比较小, 从使用效果看, 这种增益曲线比较适合于双折射双频激光器。

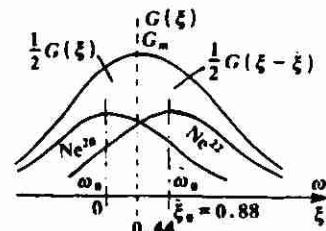


Fig. 2 Gain curve

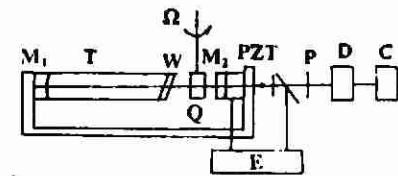


Fig. 3 The experimental arrangement

四、实验结果

我们的实验装置示意图如图 3。图中各符号代表的内容如下:

M_1 和 M_2 为激光腔反射镜; T 为增益管; W 为熔融石英窗片; PZT 为压电陶瓷, 粘在 M_2 上; E 为稳频系统; D 为探测器; Q 为石英晶片, 可转; P 为偏振片; C 为频率计。

当增益管 T 中充入单同位素 Ne 时, 在频率计 C 中经常看不见频差, 根本无法稳频, 虽然有激光输出, 但 o 光或 e 光中有一个模常常在增益曲线出光带宽之外。

当增益管中充入双同位素 Ne , 且比例为文中介绍的 $He:Ne = 7:1$, $Ne^{20}:Ne^{22} = 53:47$ 时, 频率稳定系统可以正常工作, 频率计中不仅可以观察到频差, 且频差还比较稳定, 效果明显, 说明这种增益曲线有利于改善频率稳定度。

参 考 文 献

- 1 Zhang Sh, Wu M, Jin G. Appl Opt, 1990; 29(9): 1265 ~ 1267
- 2 Zhang Sh, He W, Li K et al. SPIE, 1993; 1983: 24 ~ 25
- 3 Zhang Sh, Li K, Wu M et al. Opt Commun, 1992; 90: 279 ~ 282

作者简介: 李克兰, 女, 1937 年 3 月出生。副研究员。现从事光学仪器及激光应用的研究。

收稿日期: 1995-06-09 收到修改稿日期: 1995-09-05

