

文章编号: 1001-3806(2007)04-0341-03

1.5 μm 波段乙炔气体稳频光纤光栅外腔半导体激光器

金 杰, 张建伟, 杨 宇, 马 翔
(天津大学 电子信息工程学院, 天津 300072)

摘要: 为了提高 1.5 μm 波段激光器的频率稳定性, 利用乙炔分子饱和吸收稳频, 设计了一种稳频的光纤光栅外腔半导体激光器。其通过步进电机对光纤光栅进行拉伸调节波长, 实现了激光频率调谐。结果表明, 所研制的激光器拥有较高的频率稳定度。

关键词: 激光器; 外腔半导体激光器; 饱和吸收稳频; 光纤光栅; 乙炔

中图分类号: TN248.4 **文献标识码:** A

ECLD at 1.5 μm with acetylene saturated-absorption frequency stabilization

JN Jie, ZHANG Jian-wei, YANG Yu, MA Xiang

(College of Electronic and Communication Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: The frequency-stabilized laser in 1.5 μm region is vital for high-capacity dense wavelength division multiplexing (DWDM). The acetylene saturated-absorption frequency stabilization can be used to stabilize the frequency of lasers in 1.5 μm region. A fiber grating external cavity laser diode (ECLD) was designed according to the method of frequency stabilization, in which a step motor was used to strain the fiber grating to tune the wavelength, and the power of light was modulated by modulating the injecting current. The effect of frequency stabilization was authenticated by experiment.

Key words: lasers; external cavity laser diode; saturated absorption frequency stabilization; fiber grating; acetylene (C_2H_2)

引 言

高稳定度的 1.5 μm 激光器是密集波分复用 (dense wavelength division multiplexing, DWDM) 光通信系统的重要光源, 同时在精密测量、光谱研究等领域也有广泛的应用^[1,2]。分子饱和吸收稳频是实现激光稳频的方法之一。对 1.5 μm 波段, 大量的关于稳频的实验都是采用乙炔 (C_2H_2) 和氢氰酸 (HCN) 这两种气体的吸收线作为参考频率的^[3~5]。其中乙炔气体由于具有稳定、无毒、无腐蚀性、易于填充、没有固有电矩等特点, 而受到人们的青睐^[6~8]。而在众多关于采用这种稳频方法的外腔半导体激光器 (external cavity laser diode, ECLD) 的报道中, 大都采用闪耀光栅作外腔, 却少有采用光纤光栅作外腔的实验研究。由于乙炔气体相邻的两条较强的吸收线之间的间距为 1.2nm 至 1.4nm, 因此光纤光栅的调谐范围至少要大于 1.4nm, 才能将激光器的频率锁定在某一条吸收线上。对于光

纤光栅外腔半导体激光器, 较为有效的调谐方法是改变光纤光栅的布喇格波长, 作者采用了步进电机拉伸的方法, 将光纤光栅粘贴在可以弯曲的悬臂梁上, 利用步进电机带动千分尺旋钮的旋转, 从而使悬臂梁产生弯曲, 改变布喇格波长。步进电机的步进度数最小可以达到 0.8, 通过齿轮的传动作用, 可以进一步使旋转度数减小, 从而提高拉伸精度。采用这种方法, 可以得到 1.4nm 的调节范围, 完全满足了需要。

1 乙炔分子饱和吸收稳频

采用乙炔气体作为吸收物质, 实现分子饱和吸收稳频。乙炔气体有和 1.5 μm 波段的激光频率配合很好的吸收线, 当激光频率调谐到吸收线中心频率附近时, 因分子饱和吸收效应, 会在吸收曲线上形成凹陷, 此频段的激光吸收损耗降低, 使得通过吸收池的该频段激光功率形成凸峰。乙炔气体在 1.51 μm ~1.54 μm 波长范围内有 50 个较强的吸收峰。与激光谐振频率对应的吸收线, 可以作为稳频的参考频率。

稳频原理如图 1 所示。在半导体激光器上提供两种工作电流: 直流电流用于选择工作点; 振荡器产生的 1kHz 正弦电流用于使激光频率产生 f - ν 调制, 从而使激光输出频率在吸收中心频率附近以 $f = 1\text{kHz}$ 频率变

基金项目: 天津市自然科学基金重点资助项目 (033800211)

作者简介: 金 杰 (1962-), 女, 教授, 博士后, 博导, 现从事光纤通信和智能仪器的研究工作。

E-mail: jinjie@tju.edu.cn

收稿日期: 2006-07-12; 收到修改稿日期: 2006-08-31

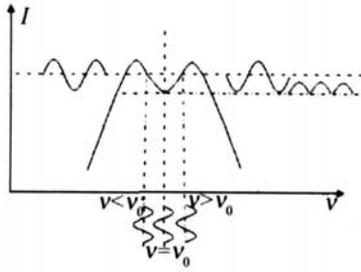


Fig 1 Schematic diagram of frequency stabilization

化。在吸收池后加中心频率 $f = 1\text{kHz}$ 的选频放大器和鉴相电路,鉴相电路输出信号反馈到激光器驱动电流源,控制电流大小。当激光频率在吸收中心频率 ν_0 上时,得到 $2f$ 的输出频率变化,该信号不能通过选频放大器。当激光频率偏离了吸收频率时,分两种情况:激光频率位于 ν_0 左侧时,功率调制信号与振荡器调制信号反相,鉴相电路输出负电压,使激光的驱动电流源减小激光器注入电流,调整激光输出频率向增大方向变化;激光频率位于 ν_0 右侧时,功率调制信号与振荡器调制信号同相,鉴相电路输出正电压,使激光的驱动电流源增大激光器注入电流,调整激光输出频率向减小方向变化。最终使频率稳定在吸收中心频率 ν_0 上^[9]。

通常吸收线与激光增益曲线中心频率并不重合,吸收峰将叠加在倾斜的功率曲线背景上。这使吸收峰的顶点偏离吸收线中心频率而使复现性变差。作者在设计稳频系统时,采用了三次谐波技术,来消除这一影响。

2 稳频光纤光栅外腔半导体激光器

图 2 为本文中设计的 $1.5\mu\text{m}$ 波段乙炔气体稳频光纤光栅外腔半导体激光器的系统框图。图中外腔半

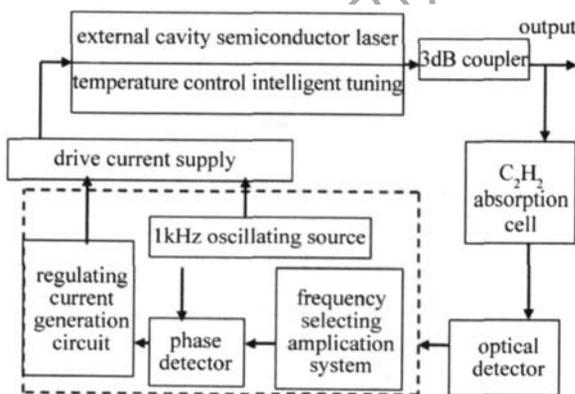


Fig 2 System chart of the ECLD

导体激光器采用的光源是带单模尾纤的多纵模激光器,尾纤输出功率为 1mW 。通过耦合器将激光器与光纤光栅相连,构成 70cm 长的长外腔半导体激光器。采用耦合器是为了便于器件的更新与拆卸。调整光纤光栅的布喇格波长可以改变外腔半导体激光器的输出波长,实现单纵模可调谐激光输出。光纤光栅在自然伸长时的布喇格波长为 1536nm 。智能调谐是由单片

机控制的步进电机完成的。随着步进电机的拉伸,布喇格波长将减小。光纤光栅将半导体激光器的部分输出光反馈回有源区,可起到降低激光器噪声,压缩激光器线宽,增大激光器波长调谐范围,选取单纵模的作用^[10]。温度的变化会使光纤光栅的布喇格波长发生细微的变化,同时也会造成半导体激光器输出波长的漂移。为了提高精度,减小波长漂移,采用了单片机为核心的温度控制系统进行恒温控制。图中虚线中的部分为稳频伺服电路。鉴相器输出的误差信号经调节电流电路,产生调节信号,用于调节驱动电流源的电流。误差信号的提取是通过对半导体激光器注入电流的调制实现的。用一个频率 $f = 1\text{kHz}$ 的正弦小信号对半导体激光器的注入电流进行调制,则输出激光的光强也受到同样的调制。

如图 2 所示,系统的光路部分由 3dB 耦合器、吸收池和光电探测器构成。若入射光方向与吸收池端面垂直,乙炔气体吸收池的端面会产生反射,反射光会对外腔半导体激光器产生较大干扰。乙炔气体吸收池的两个端面被设计成布儒斯特角的形式,可以消除这方面的影响。吸收池的材料为玻璃,其折射率 $n_2 = 1.5$,则 $\theta_b = 56.3^\circ$ 。吸收池中的气体很稀薄,气压为 $1300\text{Pa} \sim 2000\text{Pa}$,这样可以显著减小碰撞加宽。为了增强吸收的饱和度,吸收池的长度为 10cm 。吸收池两端配有透镜进行聚焦,以减小光斑尺寸以提高探测器的接收效果,提高系统的可靠性。由吸收池射出的激光经光电探测器,转换为带有激光频率误差信号的电信号,并通过伺服电路调整激光器输出频率,进而使整个系统实现闭环控制。

未加外腔的半导体激光器的光谱图如图 3 所示。实验中光纤光栅的调谐范围为 1534.6nm 至 1536nm 。

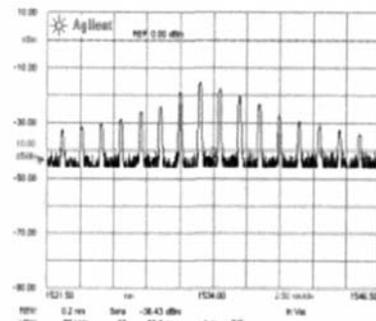


Fig 3 Spectrum atlas of the laser

通过观测本实验所用激光器的光谱图及光纤光栅的调谐范围,最后确定以 1535.393nm 作为本次实验的参考吸收线。 1535.393nm 处的吸收度大约为 50% ,线宽约为 1GHz 。

稳定度是通过观测输出光谱计算得到的。计算频率稳定度公式为: $S^{-1} = \Delta\lambda / \lambda$,式中, $\Delta\lambda$ 为观测时间内

频率的相对变化量, $\bar{\lambda}$ 为观测时间内各频率的平均值。

图 4 是加入饱和吸收稳频后, 每隔 10min 观测到的外腔半导体激光器输出光谱图。由于实验中所用的

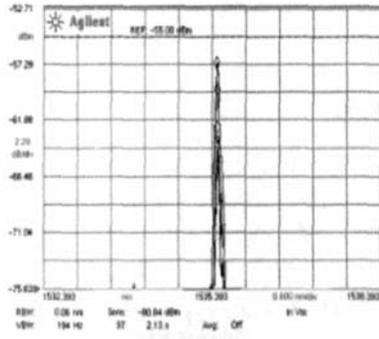


Fig 4 Spectrum atlas of the ECLD with saturated-absorption frequency stabilization

光谱仪的分辨率为 0.001nm, 加上一位的误差估计, 所能显示的波长的变化只能在皮米量级内, 因此, 从光谱图中读出的中心波长的变化为 0, 即 $\Delta\lambda < 0.001\text{nm}$, 相应的频率稳定度优于 6.5×10^{-7} 。图 5 为不同时间测得的外腔半导体激光器的频谱图。从图中可以看出,

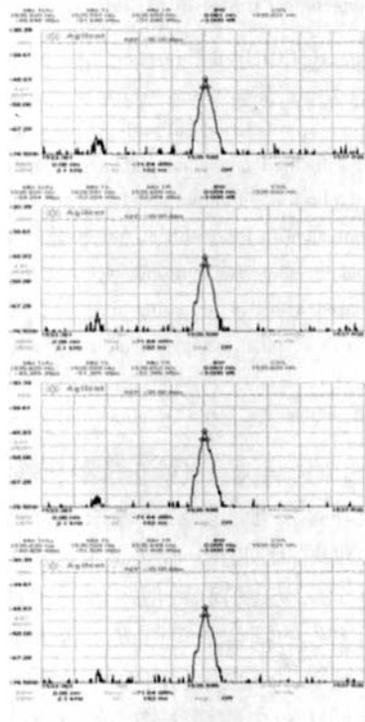


Fig 5 Frequency repetition

显示的中心波长的变化量为 0, 可见系统具有较高的频率复现性。

3 结 论

通过采用对半导体激光器注入电流调制的方法, 实现了对光纤光栅外腔半导体激光器的乙炔气体饱和吸收稳频, 实现了较大的调谐范围及较高的频率稳定度与复现度。通过长时间观测激光器输出波长的变化, 表明系统的稳定性较高。

参 考 文 献

- [1] ZHANG X B, YAO B Q, WANG Y Zh *et al* Quasi-four-level Cop-doped Tm/Ho gadolinium vanadate laser [J]. Laser Technology, 2006, 30 (2): 119~122 (in Chinese).
- [2] de LABACHELER IEM, de NAKAGAWA K, AWAJI Y. High stability laser frequency references at 1.5 μm using molecular lines: state of the art and prospects [A]. Proceedings of 10th International Conference on European Frequency and Time [C]. London: UK IEE, 1996. 256~261.
- [3] SHO CH I S, YOSH I H I S A, H I R O S H I Y. Frequency stabilization of 1.55 μm DFB laser diode using vibretional-rotational absorption of $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$ molecules [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 1989, 1 (11): 392~394.
- [4] YOSH I H I S A, SUZU K I M. Frequency locking of InGaAsP semiconductor laser to the first overtone vibration-rotation lines of hydrogen fluoride [J]. A P L, 1982, 41 (11): 1034~1036.
- [5] SHO CH I S, YOSH I H I S A, H I R O S H I Y. Frequency-stabilized DFB laser module using 1.53159 μm absorption line of C_2H_2 [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 1989, 11 (10): 281~284.
- [6] ONAE A, OKUMMA K, YADA J. Toward an accurate frequency standard at 1.5 μm based on the acetylene overtone band transition [J]. IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement, 1999, 48 (2): 563~566.
- [7] de LABACHELER IEM, de NAKAGAWA K, AWAJI Y. High-frequency-stability laser at 1.5 μm using Doppler-free molecular lines [J]. Opt Lett, 1995, 20 (6): 572~574.
- [8] de NAKAGAWA K, de LABACHELER IEM, AWAJI Y *et al* Accurate optical frequency atlas of the 1.5 μm bands of acetylene [J]. J O S A, 1996, B 13 (12): 2708~2714.
- [9] PAN W, HU Y. The semi-conductor laser saturation absorption frequency stabilization [J]. Journal of Semiconductor, 1996, 21 (4): 49~53 (in Chinese).
- [10] FELENG M W, MOORAD IAN A. Spectral characteristics of external cavity controlled semiconductor lasers [J]. IEEE J Q E, 1981, 17 (1): 44~59.