

调节转移技术在激光二极管频率稳定中的研究*

李田泽 魏佩瑜

(山东理工大学电气与电子工程学院, 淄博 255049)

摘要 阐述了利用调节及转换技术稳定激光二极管发射器的频率, 这种发射器可以发射纳米波长的激光. 通过分析两个相互独立的激光器系统中存在的振动信号, 知道该振动信号已揭示了在 0.09 s 的时间内有 10^{-11} s 的时间频率是相对稳定的, 并且在 1 s 的时间内似乎可以得到 10^{-12} 的最低干扰频率. 为避免产生共振, 充分吸收铯元素的 D_2 线作为频率参考及非线性光谱研究.

关键词 稳定频率; 激光二极管; 非线性光谱学

中图分类号 TN248 **文献标识码** A

0 引言

半导体激光器是指以半导体材料为工作物质的一类激光器, 也称半导体激光二极管, 简称激光二极管(LD)^[1], 它是一种注入式的受激放大器, 虽然它形成激光的必然条件与其他激光器相同, 如粒子数反转分布、谐振条件等, 但它的激发机理与其他激光器截然不同^[2]. 半导体激光器技术在制造低振幅及低频干扰等方面已取得了非常大的成功, 半导体激光器成为最有前途的光源. 在一个宽电磁光谱中, 利用这种光源可以得到高度准确及稳定的标准频率, 而这个电磁光谱可以从可见光区域到红外线区域. 在规定几毫秒的观察时间内使用一个光学系统可以将上述的光谱宽度降低为十万赫兹, 这种光谱可以用做高灵敏度传感器、频率测量器及大密度的分波长多路传输交流工具, 它们非常适合在快速分析的光谱学中得到应用.

为改善光束质量, 研究和开发了选模技术, 选出单纵模, 则可以获得单频激光输出, 从而改善了激光的单色性. 由于激光受到外界各种干扰的影响, 实际上激光频率的稳定度比较差. 多年来科学家们不断在研究和寻找各种提高激光器频率稳定性和有实用价值的稳定技术. 这些稳频技术有: 利用电子伺服控制系统把激光振荡频率始终锁定在标准频率上; 兰姆凹陷选择原子谱线的中心频率作为参考标准对激光器进行稳频, 其频率稳定度 10^{-9} , 及饱和吸收稳频法等. 这些稳频技术存在的问题是, 频率稳定度低, 受放电扰动和压力而展宽的影响, 复现性差等^[3].

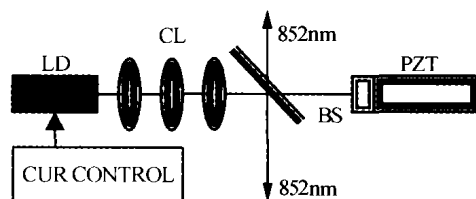
本文采用调节转移技术, 用于元素的分析, 着重研究饱和吸收铯元素的 D_2 线、激光器的绝对稳定频

率以及固定激光频率, 从而避免产生共振以及上述技术存在的问题.

1 纳米激光二极管扩展腔结构

半导体激光器在能量、振幅干扰、波长调整及发射的线宽等方面有突出特性^[1]. 为了进一步降低发射的线宽以及获得很好的调节及控制激光的输出频率, 以扩展腔结构对激光二极管进行了光学反馈.

图 1 表示用于纳米扩展的激光二极管的系统结构^[4]. 激光二极管的输出态不影响 852 nm 激光. 在激光二极管的扩展腔结构中使用一个反射率为 93% 的平面镜固定于该系统中. 为了校正发散的激光束, 把一个焦距为 7.0 mm 的平行且聚焦的透镜置于光学系统中, 激光器输出的光束通过一个光束分束器分为两路光. 激光分束器的反射率为 50%. 为了调整激光器的输出频率, 这个光学系统中的平面镜被安放在陶瓷上, 以便更好地控制光学系统中透镜组的长度.



LD: Diode laser; BS: Beam splitter; CL: Element of collimating and focusing; PZT: Piezoelectric actuator

图 1 激光二极管扩展腔结构示意图

Fig. 1 Configuration of LD extended cavity

在激光二极管温度为 35℃ 且输出电流为 175 mA 时, 在发射 852 nm 波长及小于 1 MHz 线宽的激光的情况下, 可以得到超过 12 mW 的输出功率.

2 调节转移光谱学及激光频率的稳定

铯元素的饱和 D_2 线作为 852 nm 处频率参考, 通过使用参考文献[5, 6]所用的光谱学法使激光的频率达到共振. 这种方法可以被精确的描述为去制

*山东理工大学自然科学基金(302014)资助项目
Tel: 0533-2760595 Email: litzwang@163.com
收稿日期: 2003-07-16

止四波混合的影响,利用振荡器的非线性特性以及强发射光束的调节可以被转化成一个反增长探测光束. 仅当满足共振状态时,调节转化法才能实施,并且在这种情况下,线性稳定已经不受残留线性吸收的影响了. 边频带形成于观察域内并且观察域本身就会促使光探测器在调节频率处产生光电流(外差探测法),在利用局部敏感探测系统的情况下,可能恢复散乱的情况及吸收元件的共振,而这些情况与独立的正交调节元件有关. 这些信号有奇特的频率下调功能,在激光频率及振动频率之间调节,当调节频率 ω_n 比线宽低时,聚集及发散的信号迅速提升,这时信号穿过振动的中心频率,可以精确的固定激光频率于振动中心^[7].

在内相正交元件及振动的聚集及发散的大体轮廓之间的明确联系如下式所示

$$I(\omega_n) \propto \sum_{m=-\infty}^{\infty} J_m(\beta) J_{m-1}(\beta) [(L_{(m+10/2)} + L_{(m-2)/2}) \cos(\omega_n t + \phi) + (D_{(m+1)/2} - D_{(m-2)/2}) \sin(\omega_n t + \phi)]$$

式中, I 为角频率 ω_n 处光电流; J_m 是第 m 象限指令; β 是相调节参数; $L_i = 1/(1+x_i^2)$ 是 Lorentian 公式, x_i 为标准频率的吸收率,且 $x_i = (\omega - \omega_0 + \Delta/2 + i\omega_n)/\gamma$; $D_i = x_i L_i \omega - \omega_0$ 是下降的角频率; γ 是振动线宽; Δ

是释放及探测光束间的上升的角频率; ϕ 是关于应用于释放光束的相对性.

图 2 为激光频率的稳定实验^[8,9]. 在图 2 所示实验的两个系统中,发射的光是利用 3.3 及 4.3 MHz 的光电调节器调节其周相. 其中相调节指数 β 为 1.6. 为了降低在光学探测器的光反馈,未调节的探测标准通过使用声光探测器其频率上升了 75 MHz 的频率. 释放光束及探测光束两者都有大约 0.6 mW 的能量及 2.2 mm 的直径. 这两束光通过 2.1 cm 长的铯孔垂直分化. 线性状可以从 D_2 线中获得,尤其可以从 $F=4$ 到 $F=5$ 的转化中得到. 利用通常的调节状态及 22°C 的铯孔,在线性状中心的坡度为 0.26 及 0.15 V/MHz. 这个坡度的差异由不同调节频率所决定,可以观测到大约 20 MHz 的同类线宽. 这个值是由自然的衰弱引起的,是不同的扩大机械装备的输出(5.1 MHz). 由于发射光束而产生的饱和效应将会增加大约 3.7 单位的线宽,增大了压力(原子的碰撞);由于偶然的电磁场原子经过光束而受限制,通行的时间及激光的线宽产生了 Zeeman 效应. 在实验中,观察到的线宽值主要由自然的衰弱及能量的放大而决定,因为其它放大装置,已计算出的输出与其相比是微不足道的(1.1 MHz).

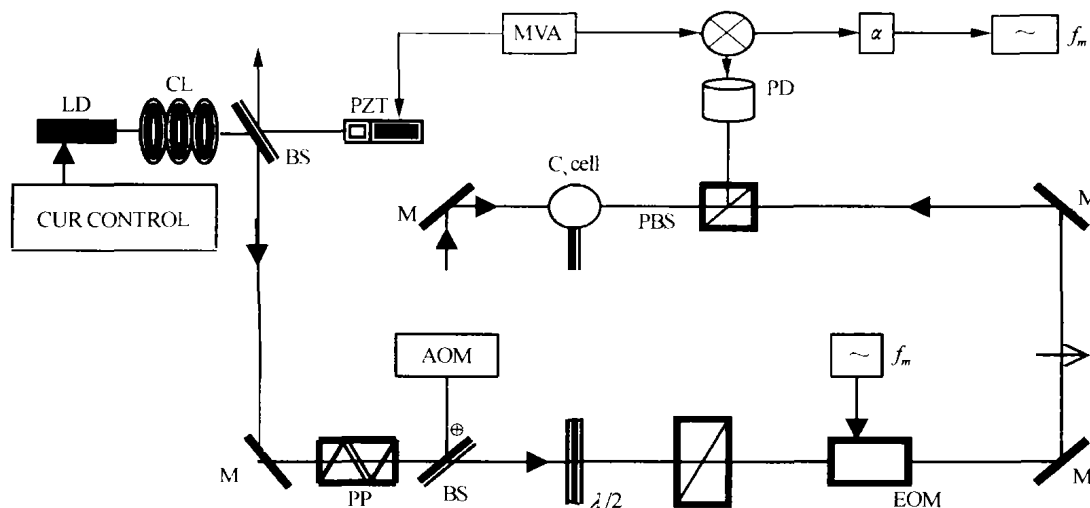


图 2 激光频率的稳定实验

Fig. 2 Experimental of laser frequency stabilization

在 PZT 转换器中用这个错误的信号作为电子闭环反馈输入,当激光的频率稳定时,噪音的剩余频率的辨别应该将激光频率稳定在约为 10^{-12} 处,获得的 MT 线性结构显示了一个将近扁平的底线及一个减少的几个毫伏直流分支信号. 图 3 给出了一条理想的连续线性线,有 -65 MV/MHz 的坡度,这个坡度主要是共振的不对称性而引起的. 这种不对称性由剩余的磁场所导致,如果在铯孔中没有利用保护装置,不依赖于光束的大幅削减技术(如频率调节光频学),会有剩余的磁场,线性的吸收影响被极大的减弱了,像

这样的频率经常是不确定的. 从这些实验数据可以看出,MT 线性信号仅在 $F = +1.1$ 转换中有一个较高的频率. 在孔窗前放两块 1/4 波长的感光板,发射及探测光束的偏振现象已经转化成环行偏振现象,在 MT 线的形状及亮度在没有大的影响的情况下可以被观测到. 两个稳定的激光中有波动信号,通过对此信号频率的测量以及对标准偏差的估计知,频率稳定已经形成. 在少于 0.15 s 的时间内,频率的扰动主要由轻快的相扰动引起. 使标准误差为 $1.6 \times 10^{-12} \text{T}^{-1}$ 的值. 在更长的时间内,频率扰动在 10^{-11} 范围内.

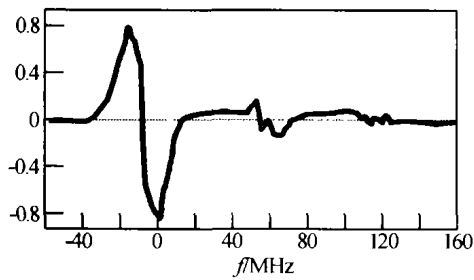


图3 调制转移记录线

Fig. 3 Modulation transfer lineshape record

3 结论

1) 利用图2系统研究了激光频率在852 nm处铯的饱和吸收的D₂线稳定问题,利用调整传递光谱法,可以在11 KHz的测量宽带中得到约为20 dB的信噪比,这个信噪比可以使频率稳定于 $10^{-11}T^{-1/2}$.

2) 在两个不同的稳定系统中有振动信号,通过振动频率的测量,频率稳定展示了在 $1.6 \times 10^{-12}T^{-1}$ 的标准偏差,从1~80 ms或在更长的时间可以得到 10^{-11} 的恒定稳定值.

3) 不同的压力及光偏振已经被用作规定振动转移的频率特性.灵敏性的饱和吸收及信噪比将会被用于测量不同的振动频率.

参考文献

- 1 虞钢,虞和济著.激光智能加工工程.北京:冶金工业出版社,2002.161
Yu G, Yu H J. Integrated laser intelligent manufacturing. Beijing: Metallurgy Industry Press, 2002. 161
- 2 梅遂生. 光电子技术. 北京:国防工业出版社,1999. 43~44
Mei S S. Photoelectron technogy. Beijing: National Industry Press, 1999. 43~44
- 3 Nguyen Q V, Dibble R W. High-resolution oxygen absorption spectrum obtained with an external cavity continuously tunable diode laser. *Opt Lett*, 1994, (19): 2134~2135
- 4 Arie A, Lissak B, Tur M. Static fiber-bragg grating strain sensing using frequency-locked lasers. *J Lightwave Technol*, 1999, (17): 1849~1853
- 5 De Labacherie M, Latrasse C, Ceraz P. The frequency control of diode lasers. *J Phys III*, 1992, (2): 1557~1580
- 6 Shirley J H. Modulation transfer processes in optical heterodyne saturation spectroscopy. *Opt Lett*, 1982, (7): 537~539
- 7 王石语, 过振, 傅君眉, 等. 降低热不稳定性的激光二极管泵浦固体激光器. 光子学报, 2003, 32(8): 904~906
Wang S Y, Guo Z, Fu J M, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2003, 32(8): 904~906
- 8 杨鸿儒, 左铁钊. 全固体小型 Yb: YAG 激光器热效应及输出特性研究. 光子学报, 2003, 32(8): 907~909
Yang H R, Zuo T C. *Acta Photonica Sinica*, 2003, 32(8): 907~909
- 9 张登玉. 激光对分子振动态的控制与量子 Fredkin 逻辑门. 光子学报, 2001, 30(12): 1431~1433
Zhang D Y. *Acta Photonica Sinica*, 2003, 32(8): 1431~1433

Study of Frequency Stabilization of Diode Laser Using the Regulator Transfer Method

Li Tianze, Wei Peiyu

Shandong University of Technology, Zibo 255049

Received date: 2003-07-16

Abstract Absolute frequency stabilization of diode lasers of wavelength nm grade are reported using the modulation transfer method. The analysis of the beat signal between two independent laser systems has showed a relative frequency stability of 10^{-11} for an integration time of 0.09 s, and a frequency noise floor in the order of 10^{-12} for an integration time of 1 s seems attainable. Saturated absorption D₂ lines of cesium atoms have been adopted as a frequency reference and the nonlinear spectroscopy.

Keywords Frequency stabilization; Diode laser; Nonlinear spectroscopy



Li Tianze was born in 1963. He graduated from University of Nanjing Technology. Now he is a professor of College of Electrical and Electron Engineering, Shandong University of Technology. And his major research fields include laser technology, photoelectricity survey, and information science.