

利用气体吸收池光电流信号稳定 InGaAsP 半导体激光器频率*

王瑞峰 蔡伯荣 胡 渝 洪永和 任文华

(电子科技大学光电子技术系 成都 610054)

Tian Rongsheng

(Department of Electrical Engineering, University of Delaware, Newark USA)

提要 采用光吸收作用使放电气体吸收池电流改变,即“光电压”信号作为频率标准,对 InGaAsP 长波长半导体激光器进行稳频。

关键词 InGaAsP 半导体激光器, 频率稳定性, 放电吸收池, 光电流效应

1 引 言

现代光纤通信系统中,无论采用波分复用系统还是频分复用系统来扩大通信容量,都要求发射光源半导体激光器输出光波频率高度稳定。外差探测、光频合成以及光学测量技术也离不开半导体激光器的稳频技术。为此国外对此项技术开展了多项研究,探索过多种稳频方法。其中有利用分子或原子吸收谱线来进行稳频的^[1-3],有利用气体光吸收的光电流信号来实现稳频的^[4],以及其它稳频方法^[5]。这些方法的共同点是将被测激光器的注入电源与一伺服回路相连接,用误差信号来锁定激光器的频率。国内虽开展了一些研究,但报道尚少。本文报道了我们采用氖(Ne)气的光电流信号变化作为频率标准,实现波长为 1.3 μm InGaAsP 半导体激光器输出光波稳频的初步研究结果。

2 光吸收光电压稳频原理

光吸收光电流信号稳频的主要特征,是利用金属原子、气体分子或原子能级间特定谱线的光吸收,引起的“光电流”信号变化作为频率标准,实现相应的半导体激光器的稳频。

针对激光波长 $\lambda = 1.3 \mu\text{m}$,我们选用 Ne 原子的强吸收谱线造成的光电流信号来实现对上述 InGaAsP 半导体激光器的稳频。Ne 原子吸收光谱中,较强谱线的中心波长是 1.2915 μm ,相应的原子能级如图 1 所示。

为实现利用光电流信号稳频,我们设计并制作了一只充有 Ne 气的、具有两个电极的放电

* 电子科学预研基金资助项目,项目编号 J94.10.05。

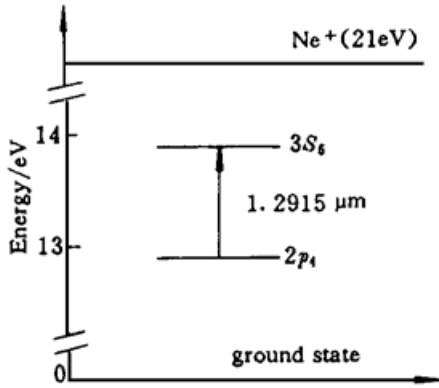


图 1 Ne 原子部分能级及相应吸收谱线

Fig. 1 Partial energy diagram and a relative absorption line of Ne atom

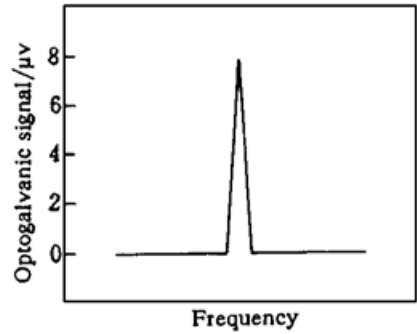


图 2 Ne 原子 2p4-3S5 能级的光电流信号

Fig. 2 Optogalvanic signal of Ne atomic energy level 2p4-3S5

吸收池。当吸收池两端加有高电压时,产生气体放电,在放电的等离子体中,Ne 原子被激发到各个能级上去,正常情况下,其放电维持着一种平衡状态,即带电的 Ne⁺ 的

$$\text{产生率} = \text{复合率} \tag{1}$$

这时,若采用 $\lambda = 1.3 \mu\text{m}$ InGaAsP 激光射入吸收池,则 2p₄ 能级上处于激发态的 Ne 原子因吸收相应的光子能量 ($h\nu$) 被激发到 3S₅ 能级上去(如图 1 所示)。由于 3S₅ 态激发原子电离成 Ne⁺ 所需能量小于 2p₄ 态的电离能,因此 3S₅ 态原子的电离几率比 2p₄ 态的高,结果加强了正离子的产生率,破坏了等离子体的平衡条件,即出现了 Ne⁺ 的

$$\text{产生率} > \text{复合率} \tag{2}$$

的结果。由于正电荷的限制作用,等离子体的导电能力下降,即阻抗增大,以此来降低流过等离子体的电流,以减少 3S₅ 态的激发原子,建立新的平衡。此时,放电吸收池的端电压将升高,此乃激光照射下气体等离子体产生的“光电压”现象。图 2 示出了 Ne 原子 2p₄-3S₅ 态间光吸收跃迁所引起的“光电流”信号示意图。由于光电流效应的产生与照射激光光子能量(即光子频率)间有着严格的对应关系,相应的吸收谱线很窄。利用如此窄的谱线作频率标准,来实现激光器的稳频是十分理想的。

3 光电压稳频的实验方法

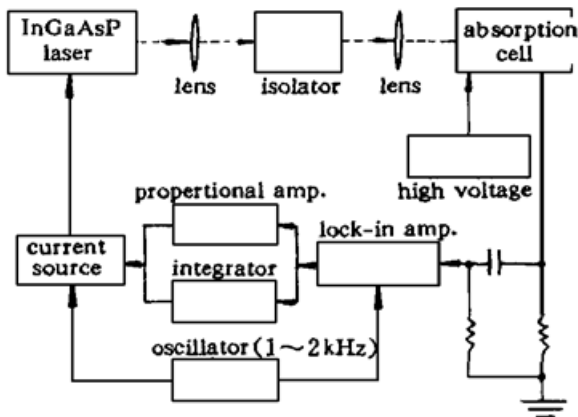


图 3 利用光电流效应稳频的实验装置框图

Fig. 3 Experimental setup of frequency stabilization using optogalvanic effect

根据上述原理,我们设计安装了一套稳频实验装置,方框图如图 3 所示。其方法是:首先调节 InGaAsP 半导体激光器,使之处于正常工作状态(即调节电流、温度到正常范围)。输出波长为 1.3 μm 激光经透镜聚焦后,射入加有高电压的吸收池,在吸收池的气体等离子体区产生光吸收。然后,将低频振荡器(1~ 2 kHz)的输出信号一方面送入激光器的注入电源,使其产生一个微弱的电流变化信号,此信号使输出激光频率上叠加了一个变频信号;另一方面使该低频信号输入一锁相放大器,来实现“光电压”信号的同步检测。就是

说输入注入电源的低频振荡信号若能使吸收池产生光电压信号, 则通过锁相放大器即可同步检测出来, 否则, 锁相放大器的输出指示为零。

我们已知从锁相放大器检测出的信号是光电压谱的一阶导数即 $\Delta v/\Delta f$, Δv 为光电压变化, Δf 为频率变化范围。图 4 给出了 Ne 原子 $2p_4-3S_5$ 态间吸收跃迁引起的光电压的一阶导数信号图。信号相应的峰-峰宽度为 430 MHz, 跃迁中心附近信号斜率为 $1.2 \mu\text{V}/\text{MHz}$, 此乃本吸收池的一个重要参数, 其线性部分用作频率锁定, 即稳频参考点。锁相放大器将检测出的信号经过处理后变成误差信号送入半导体激光器电源, 将其激光频率锁定, 从而实现稳频的目的。将误差信号扫描即可测出开环(无反馈)与闭环(有反馈)时的光电流信号变化的波形, 如图 5 所示。由此估算的频率稳定度约为 2 MHz。实验表明, 在正常的实验条件下, 此结果可以保持数日不变。

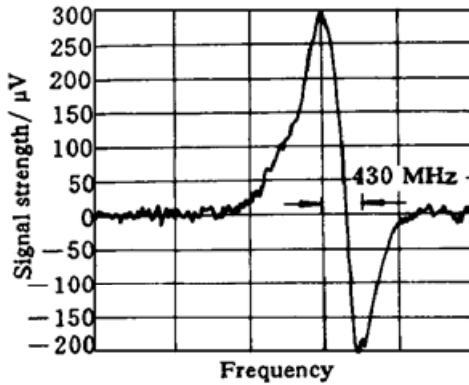


图 4 Ne 原子 $2p_4-3S_5$ 吸收跃迁 ($1.2915 \mu\text{m}$) 的一阶导数信号

Fig. 4 First derivative signal of Ne $2p_4-2S_5$ transition ($1.2915 \mu\text{m}$)

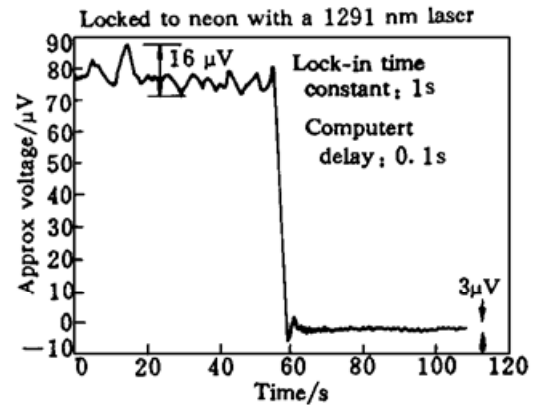


图 5 Ne 原子吸收池误差信号扫描图

Fig. 5 Scanning diagram of the error signal on a Ne absorption cell

该项稳频技术的核心器件是放电吸收池, 它必须根据激光器波长要求来选择能产生光电流信号的合适的吸收介质。我们设计并制作了放电吸收池。

参 考 文 献

- 1 H. Tsuchida, M. Ohtsu, T. Tako. Frequency stabilization of AlGaAs semiconductor laser to the absorption line of water vapor. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1982, **21**(1) : L1~ L3
- 2 S. Yamaguchi, M. Suzuki. Frequency locking of an InGaAsP semiconductor laser to the first overtone vibration-rotation lines of hydrogen fluoride. *Appl. Phys. Lett.*, 1982, **41**(11) : 1034~ 1036
- 3 T. Iabuzaki, A. Ibaragi, H. Hori *et al.*. Frequency-locking of a GaAlAs laser to a Doppler-free spectrum of Cs- D_2 line. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1981, **20**(6) : L451~ L454
- 4 S. Yamaguchi, M. Suzuki. Simultaneous stabilization of the frequency and power of an AlGaAs semiconductor laser by use of the optogalvanic effect of krypton. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1983, **QE-19**(10) : 1514~ 1519
- 5 Y. Sakai, I. Yokohama, T. Kominato *et al.*. Frequency stabilization of laser diode using a frequency-locked ring resonator to acetylene gas absorption lines. *IEEE Photo. Technol. Lett.*, 1991, **3**(10) : 868~ 870

Study of the Frequency Stabilization of InGaAsP Semiconductor Laser Using the Optogalvanic Effect of a Gas Absorption Cell

Wang Ruifeng Cai Borong Hu Yu Hong Yonghe Ren Wenhua
(*Department of Opto-electronic Technology, University of Electronic Science and
Technology of China, Chengdu 610054*)

Tian Rongsheng

(*Department of Electrical Engineering, University of Delaware, Newark USA*)

Abstract The preliminary result of the frequency stabilization of an InGaAsP semiconductor laser using the optogalvanic effect of a gas absorption cell is reported. The optogalvanic signal of the discharge absorption cell is used as a frequency standard.

Key words InGaAsP semiconductor laser, frequency stabilization, discharge absorption cell, optogalvanic effect