

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0365-03

三角波电流调制半导体激光器自混合效应研究

桂华侨, 吕亮, 谢建平, 赵天鹏, 明海

(中国科学技术大学物理系, 安徽 合肥 230026)

摘要 利用三镜腔理论模型和速率方程,对半导体激光器在三角波电流调制下的自混合效应进行数值模拟,得到了三角波电流调制下的自混合信号,并分析了三角波电流调制下自混合效应的特点以及调制电流参量与系统几何参量的相互依赖关系。实验观察到上升沿和下降沿的频率变化与数值模拟结果一致。

关键词 激光技术; 半导体激光器; 自混合效应; 三角波电流调制; 方向判别

中图分类号 TN248.4

文献标识码 A

Study on the Self-Mixing Effect of the Semiconductor Laser Modulated by Triangular Current

GUI Hua-qiao, LÜ Liang, XIE Jian-ping, ZHAO Tian-peng, MING Hai

(Department of Physics, University of Science and Technology of China, Hefei, Anhui 230026, China)

Abstract A theoretical analysis on self-mixing effect of the semiconductor laser modulated by triangular current is presented by using a three-mirror cavity model and rate equations. The self-mixing signals are obtained by numerical simulation. Also, the characteristics of self-mixing effect are analyzed in detail. Good agreement is found between the theoretical results and measurements using a semiconductor laser.

Key words laser technique; semiconductor laser; self-mixing effect; triangular current modulation; direction discrimination

1 引言

利用激光自混合效应测量运动物体的速度的方法,具有系统体积小、成本低、测量精度高等优点。八十年代以来,由于半导体技术的迅猛发展,使得利用半导体激光器自混合效应的测速技术得到广泛应用^[1,2]。

激光自混合效应是指激光器发出的一部分光在外部物体的反馈作用下返回到激光器谐振腔同腔内的激光相混合,对出射激光的频率和强度产生周期性调制。利用自混合信号的不对称性可以实现速度方向的判别^[3]。但信号的不对称程度受到外界反馈光强度的影响,在反馈强度逐渐减弱时,波形从锯齿形逐渐过渡到正弦形,即波形的不对称性减小,不利于速度方向的判别^[4]。对半导体激光器进行三角波电流调制,利用自混合信号上升沿和下降沿的频率差别即可以实现速度方向的判别,但以前文献没有理论模拟出三角波电流调制下随时间变化的自混合

信号^[5]。本文从三镜腔理论模型出发,在激光恒稳电流的基础上加三角波电流,模拟得到三角波电流调制下的自混合信号,并对不同外腔反馈系数下的自混合信号进行比较,给出不同的系统几何参量下三角波调制电流参量选择的基本要求。

2 理论模拟

激光自混合效应的理论研究,目前较为成熟的是三镜腔理论模型^[6]。利用三镜腔理论模型和速率方程,不加电流调制时,经过外部光反馈后激光器出射激光强度为^[6]:

$$I(t) = I_0 \left[1 + m \cos \left(4\pi\nu \frac{L_0 + Vt}{c} \right) \right] \quad (1)$$

其中 I_0 为无外部光反馈时激光器的输出光强度。 m 为调制系数,当激光器到散射面距离 L_0 一定时与反馈系数 C 成正比。 ν 为经过外部光反馈后激光器振荡频率, V 为运动物体沿光轴方向的速度, c 为真空中光速。

作者简介: 桂华侨(1979-),男,安徽人,中国科学技术大学物理系博士研究生,主要从事激光传感技术及光纤器件的研究。

Email: hqgui@ustc.edu.cn

在激光器原有工作电流上加三角波调制电流后,出射激光强度和频率也随之发生周期性变化。激光器在 t 时刻无外部光反馈时加上三角波调制电流后的激光强度可表示为

$$I_0(t) = I_0 + \beta \Delta J(t), \quad (2)$$

其中 $\Delta J(t)$ 为 t 时刻三角波调制电流振幅, β 为光强调制系数。同样,设定激光频率调制系数为 η ,三角波电流调制频率为 ν_m 。 β 和 η 由激光器的调制特性决定,在电流调制幅度较小时近似为常数。将式(2)代入式(1)可得

$$I(t) = [I_0 + \beta \Delta J(t)] \left[1 + m \cos \left(4\pi\nu \frac{L_0 + Vt}{c} \right) \right] \quad (3)$$

由式(3)模拟计算即可得到激光器存在外部光反馈并加上电流调制时的激光强度。自混合信号在上升沿和下降沿的频率为

$$\Delta\nu' = \eta \Delta J(2L_0/c) \cdot 2\nu_m + 2V/\lambda,$$

上升沿中 ΔJ 取正号,下降沿中取负号。上升沿和下降沿频率差为 $2 \cdot (2V/\lambda) = 2\nu_D$,只需检测出上升沿和下降沿的频率差别就可以得到物体的运动速度 V 。同时,由于 V 有正负之分,运动方向远离激光器时 V 为正值,上升沿频率较下降沿频率高,反之亦然。利用这种特性即可判断运动物体速度 V 的方向。

图 1 为半导体激光器加三角波电流调制后随时间变化的自混合信号理论模拟结果。图 1(a)、图 1(b) 分别为运动物体远离和靠近激光器运动时的自混合信号。计算中,取激光初始波长 645 nm,三角波调制电流幅度 0.25 mA,调制频率 200 Hz,线宽增强因子 α 为 5,外腔长度为 0.03 m, β 为 $0.285 \text{ W} \cdot \text{A}^{-1}$, η 为 $1.08 \times 10^{14} \text{ Hz} \cdot \text{A}^{-1}$,物体运动速度为 2.5 mm/s。

由图 1 可知,当物体远离激光器运动时,自混合信号上升沿强度变化频率比下降沿的频率低;当物体面向激光器运动时,上升沿强度变化频率比下降沿的频率高。改变运动方向只是使自混合信号上升沿和下降沿的频率发生反转,利用这种特性即可以实现物体运动方向的判别。

在同一外腔长度 L_0 下,不同反馈系数 C 下的自混合信号如图 2 所示。

由图 2 可知,对于不同的反馈系数 C ,自混合信号的幅度和波形均有所变化。随着反馈系数 C 的增大,波形的幅度线性增大,波形形状也相应发生变化,但自混合信号的频率始终保持不变。因此,若是外界的反反馈系数 C 发生改变,仍然可以根据上升沿和下降沿频率差别准确判断出物体运动速度的大小和方向。而以前文献中根据波形的不对称性判断

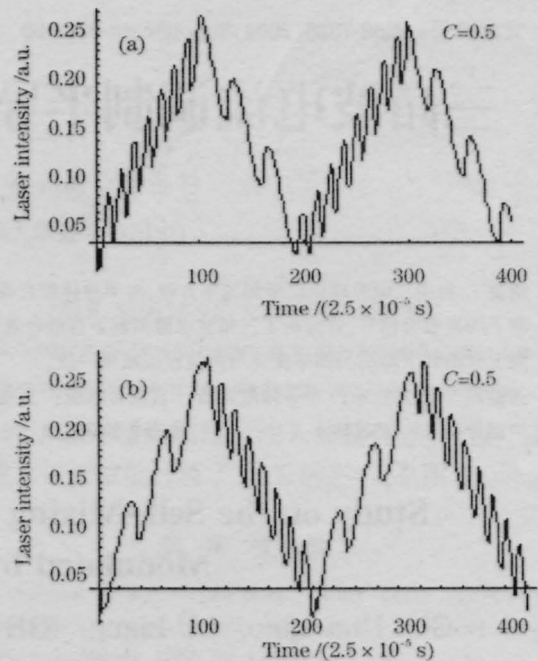


图 1 三角波电流调制下自混合信号数值模拟结果。

(a) 远离激光器运动; (b) 面向激光器运动

Fig.1 Numerical simulation self-mixing signals of semiconductor laser modulated by triangular current.

(a) Velocity from laser; (b) velocity to laser

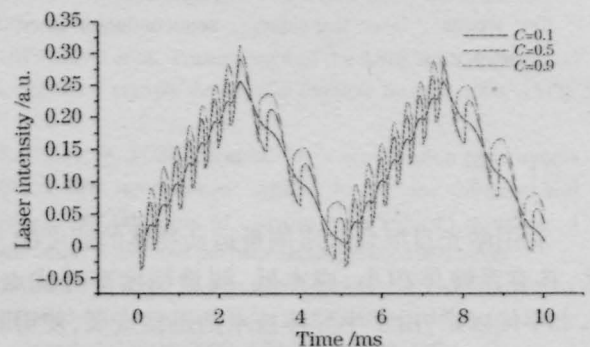


图 2 不同反馈系数 C 下的自混合信号

Fig.2 Self-mixing signals for various of C

物体运动的方向时,其不对称性总是受到外界反馈系数 C 的影响^[5]。当 C 较小时,自混合信号变为类正弦波即波形的不对称性很小,很难被电子学线路处理。这说明应用三角波电流调制可以主动地判断物体运动方向,而不易受外界条件影响。

由上升沿和下降沿频率公式可知,若在 $2L_0/V$ 时间内三角波调制电流产生的频移量 $\eta \Delta J(2L_0/c) \cdot 2\nu_m$ 低于多普勒频移 $2V/\lambda$,则上升沿频差为正,下降沿频差为负。由于自混合信号频率总是理论计算频率的绝对值,电子学上检测出的上升沿和下降沿的频率差不再是 $4V/\lambda$,即不能正确计算出物体的运动速度。因此,在实际速度测量中要求三角波调制电流在 $2L_0/c$ 时间内产生的频移量高于多普勒频移。

图3为满足上述要求时调制三角波电流频率和幅度选择关系曲线。理论计算中所用参量同上,最高多普勒频移设为50 kHz。

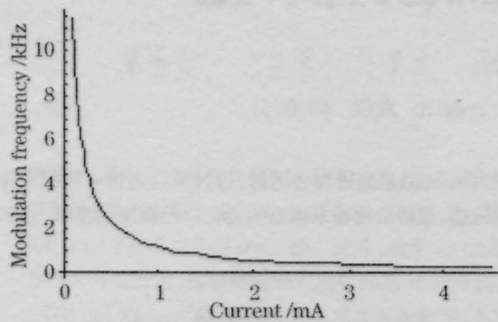


图3 三角波调制电流频率与幅度的关系

Fig.3 Relationship between frequency and amplitude of triangular current

由图3可知,调制三角波电流幅度增大时,相应的调制频率可降低。同时半导体激光器应工作在光频特性的线性区,又要求三角波调制幅度不能太大。因此,应用三角波调制电流时应综合考虑上述因素,选择较为合理的三角波电流参量。

3 实验研究

在实验系统中,半导体激光器为 Toshiba (TOLD9442M),激光波长 650 nm,工作电流 31 mA,三角波电流调制频率为 200 Hz。图4为实验中对半导体激光器加三角波调制电流得到的自混合信号。图4(a)、图4(b)下部分别为激光器上所加的三角波调制电流,上部分别为运动物体远离和靠近激光器时的自混合信号。

由图4可以看出,当运动物体远离激光器运动时上升沿频率比下降沿频率高,而当物体面向激光器运动时上升沿频率比下降沿频率低,这与图2中的理论计算结果相一致。其中上升沿和下降沿变为水平是电子学线路对自混合信号微分的结果。

4 结论

综上所述,模拟结果可以较好地反映半导体激光器在三角波电流调制下自混合信号的特点。不同

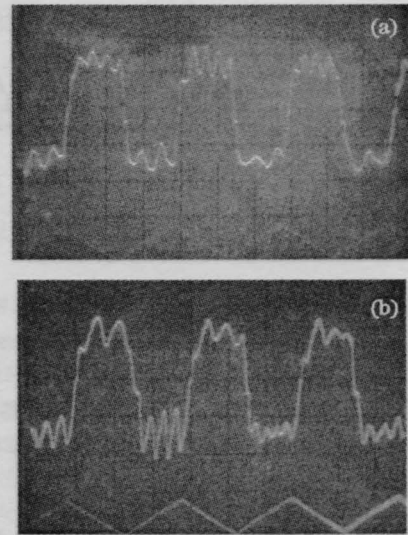


图4 实验得到的自混合信号

(a) 远离激光器; (b) 靠近激光器

Fig.4 Experimental self-mixing signals

(a) Velocity from laser; (b) velocity to laser

反馈系数下的自混合信号并不改变自混合信号的频率,从而对速度大小测量的方向判断没有影响;实际速度测量中必须选定合适的调制电流参量。本文中理论和实验结果进一步证实了利用三角波电流调制方法测速的可行性,对来自混合测速技术的应用具有指导意义。

参考文献

- 1 S. Shinohara *et al.*. Laser doppler velocimeter Using the self-mixing effect of a semiconductor laser diode [J]. *Appl. Opt.*, 1986, **25**(9):1417-1719
- 2 H. W. Jentink *et al.*. Small Laser Doppler velocimetry based on the self-mixing effect in a diode laser [J]. *Appl. Opt.*, 1988, **27**(2): pp.379-385
- 3 E. T. Shimizu *et al.*. Directional discrimination in the self-mixing type laser Doppler velocimeter [J]. *Appl. Opt.*, 1987, **26**:4541-4544
- 4 W. M. Wang *et al.*. Self-mixing interference inside a single-mode diode laser for optical sensing applications [J]. *J. Lightwave Technology*, 1994, **12**(9):1577-1587
- 5 N. Tsukuda *et al.*. New range-finding speedometer using a self-mixing laser diode modulated by triangular wave pulse current [J]. *IEEE WEAM*, 1994, **4**-1:332-335