

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0029-03

激光线宽展宽因子对半导体激光自混合信号影响的研究

吕亮, 桂华侨, 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 采用数值模拟法获得了自混合信号的时域特性, 并在此基础上对激光器重要参量线宽展宽因子在混合信号中的影响进行了数值模拟和分析, 得出了采用较大线宽展宽因子的激光器可以获得幅度较大以及较强的不对称自混合信号的结论。

关键词 激光技术; 半导体激光器; 自混合; 数值模拟; 线宽展宽因子

中图分类号 TN248.4

文献标识码 A

Influences of Linewidth Enhancement Factor of Semiconductor Laser on Self-Mixing Signal

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

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

Abstract This paper presents a theoretical analysis on self-mixing interference by using a three-mirror model. The laser self-mixing signal with different values of the linewidth enhancement factor α is obtained by numerical solution. Results indicate that adopt semiconductor laser with big values of α can enhance SNR of self-mixing signal and in favor of direction discrimination.

Key words laser technique; semiconductor laser; self-mixing; linewidth enhancement factor; simulating analysis

1 引言

激光干涉技术目前已广泛应用于位移、速度、振动以及距离的测量。20世纪60年代以来逐渐兴起一种新型的基于自混合现象的干涉仪, 与传统的干涉仪相比, 这种干涉技术具有结构简单、测速精度高的优势^[1]。1968年, Rudd采用He-Ne激光器测试散射微粒的Doppler速度的时候, 首先观察到激光器输出强度波动与Doppler频移有关, 发现自混合现象^[2]。1984年Churnside研究了CO₂激光器的自混合效应^[3]。1986年, 1988年, Shinohara等^[4]和Jentink等^[5]分别对半导体激光器的自混合效应进行了研究。1987年Shimizu^[6]发现了自混合信号倾斜方向与物体运动方向的相关性, 1994年W. M. Ming等^[7]对半导体激光器自混合信号进行了理论建模和试验研究。1996年Richard等^[8]对各种反馈水平下的自混合干涉信号的波形进行了深入的研究。2002年, Giuliani等^[9]对激光器的自混合技术在传感上的研究成果作了回顾, 对各种反馈条件进行了系统的分类。

但是目前对自混合信号的研究主要是将外腔相位作为整体变化因素进行考虑, 无法得到自混合信号随时间的变化特性, 不能深入分析各个参量对自混合信号的影响, 而且不能与实验结果很好地对应。

本文采用数值模拟的方法获得了自混合信号的时域特性, 并在此基础上将激光器重要参量线宽展宽因子对自混合信号的影响进行了数值模拟和分析。

2 弱反馈条件下半导体激光器自混合干涉理论模型

半导体激光器作为光源的自混合干涉系统如图1所示。该系统由半导体激光器和外部反射物体组成。通过反馈光改变激光器腔内的载流子密度和激光阈值增益调制激光器本身的频率和强度, 形成了自混合现象。在弱反馈条件下, 外部反射物体的反射系数远小于激光器本身的反射系数时可以将外腔的多次反射忽略, 计算光场仅考虑光一次反馈的自

作者简介: 吕亮(1978-), 男, 中国科学技术大学博士研究生, 主要从事光纤传感技术与光纤器件的研究。

E-mail: lvliang@mail.ustc.edu.cn

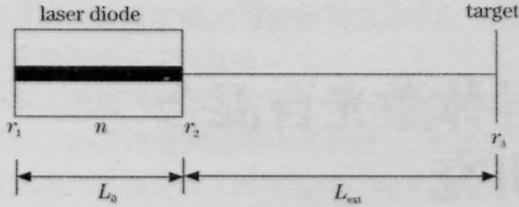


图1 自混合干涉系统示意图

Fig.1 Schematic representation of a laser diode self-mixing interference system

混合信号。通过激光系统的稳态方程并考虑到反馈强度较小不足以造成激光振荡模式的跳变,可以得到弱反馈条件下的半导体激光自混合信号频率和光场强度。

半导体激光器长度为 L_0 , 它的端面反射系数分别为 r_1 和 r_2 。外腔反射系数为 r_3 。 L_{ext} 为激光器外腔长度, n 为激光介质的折射率。通常情况下, 外腔的反射系数 r_3 远小于激光器端面的反射系数 r_2 , 可以应用自混合干涉理论的弱反馈模型。

初始的光场为 $E_0(t)$, 自混合干涉后的光场 $E(t)$ ^[7]

$$E(t) = r_1 r_2 \exp \left[-j4\pi\nu \frac{nL_0}{c} + (g - \gamma)L_0 \right] E_0(t) +$$

$$r_1 (1 - r_2^2) \exp \left[-j4\pi\nu \frac{nL_0 + L_{ext}}{c} + (g - \gamma)L_0 \right] E_0(t) \quad (1)$$

式中 g 为激光腔内单位长度引起的线性增益, γ 为激光腔内单位长度的损耗, ν 为激光的振荡频率。经过调制的激光器的频移^[7]

$$\nu - \nu_0 = \frac{C \sin(\phi_{ext} + \arctan \alpha)}{2\pi\tau_L [1 + C \cos(\phi_{ext} + \arctan \alpha)]} \quad (2)$$

这里 $\phi_{ext} = \frac{4\pi\nu}{L_{ext}/c}$ 表示激光器外腔反射光的相位变化, $\tau_L = \frac{4L_{ext}}{c}$ 代表激光在内外腔传播一周的延迟时间。 $C = \frac{L_{ext}}{nL_0} (1 - R_2) \frac{r_3}{r_2} \sqrt{1 + \alpha^2}$ 代表自混合干涉系统光反馈的强弱。 α 即为激光器的线宽展宽因子。由于激光器阈值增益被反馈光调制, 激光输出功率比例

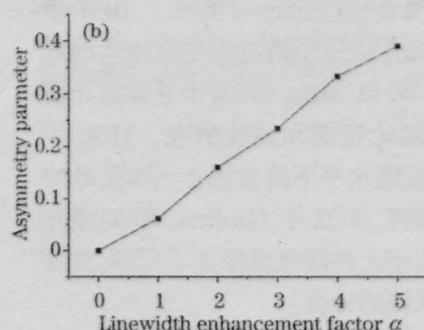
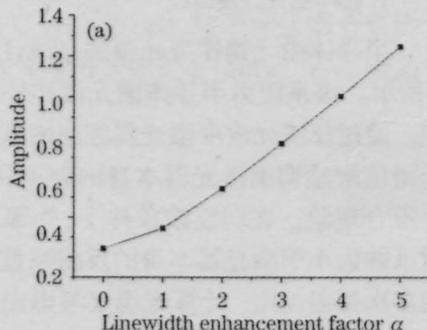


图3 (a) 不同激光器线宽展宽因子下的自混合信号幅度; (b) 不同展宽因子下自混合信号波形的不对称度

Fig.3 (a) Amplitude and (b) Asymmetry parameter of self-mixing signal corresponding to different values of the α parameter

与激光阈值增益, 因此, 激光的输出功率同样被反馈光调制, 输出的光功率可表示为^[7]:

$$I = I_0 [1 + m \cos(2\pi\nu\tau_L)] \quad (3)$$

这里调制系数 m 在工作电流一定时为比例于 C 的常数。由于(2)式中的 ϕ_{ext} 含有激光频率的信息, 无法给出激光频移的解析解, 因此目前对自混合信号的研究是将外腔相位变化作为整体因素进行考虑的, 无法得到激光频移以及自混合信号强度随时间的变化特性。

3 计算机仿真分析

对(3)式进行数值模拟, 最终获得了时域上的自混合信号。图2为不同激光器的线宽展宽因子(速度为 4 cm/s)下, 自混合信号随时间的变化特性。图3(a)为不同激光器线宽展宽因子下的自混合信号幅度。可以明显发现随着线宽展宽因子的提高, 自混合信号逐渐从幅度较小的正弦型过渡到幅度较大的类锯齿波, 同时可观察到物体运动方向引起的自混合信号波形的不对称性。

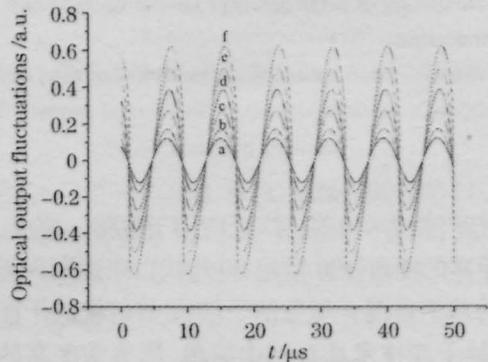


图2 自混合信号随时间的变化特性

Fig.2 Laser optical output fluctuations dependence on time change corresponding to different values of the α parameter: (a) $\alpha=0$; (b) $\alpha=1$; (c) $\alpha=2$; (d) $\alpha=3$; (e) $\alpha=4$; (f) $\alpha=5$

图 3(b)为自混合信号波形的不对称度随激光器线宽展宽因子的变化. 可以发现随着反馈系数的增加, 自混合信号的不对称性随激光器线宽展宽因子基本呈线性增加的. 这里的不对称度定义为

$$\gamma=(a-b)/(a+b) \quad (4)$$

a, b 分别为波形上升沿和下降沿的时间。

显然从以上的计算机仿真分析可以看出, 较大的激光器线宽展宽因子可以带来幅度较大以及较强的不对称性(物体运动方向判断有利)的自混合信号。

4 结 论

采用数值模拟并分析了激光器重要参量线宽展宽因子对自混合信号的影响, 发现随着线宽展宽因子的增加, 自混合信号逐渐从幅度较小的正弦型过渡到幅度较大的且具有不对称性的类锯齿波. 因此在激光器的选择上, 采用较大线宽展宽因子的激光器可以获得幅度较大以及较强的不对称性的自混合信号. 此结论对深入分析自混合信号产生机理以及激光器的选择具有参考意义。

参 考 文 献

- 1 Guido Giuliani, Michele Norgia, Silvano Donati *et al.*. Laser diode self-mixing technique for sensing applications [J]. *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.*, 2002, 4(6):283~294
- 2 M. J. Rudd. A laser Doppler velocimeter employing the laser as a mixer-oscillator[J]. *J. Phy. E*, 1968, 1(7):723~726
- 3 J. H. Churnside. Laser Doppler velocimetry by modulating a CO₂ laser with backscattered light[J]. *Appl. Opt.*, 1984, 23(1): 61~66
- 4 S. Shinohara, A. Mochizuki, H. Yoshida *et al.*. Laser Doppler velocimeter using the self-mixing effect of a semiconductor laser diode[J]. *Appl. Opt.*, 1986, 25(9):1417~1419
- 5 H. W. Jentink, F. F. M. de Mul, H. E. Suichies *et al.*. Small laser Doppler velocimeter based on the self-mixing effect in a diode laser[J]. *Appl. Opt.*, 1988, 27(2):379~385
- 6 E. T. Shimizu. Directional discrimination in the self-mixing type laser Doppler velocimeter[J]. *Appl. Opt.*, 1987, 26(21): 4541~4544
- 7 W. M. Wang, K. T. V. Grattan, A. W. Palmer *et al.*. Self-Mixing Interference inside a single-mode diode laser for optical sensing applications [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1994, 12(9): 1577~1587
- 8 Richard C. Addy, Andrew W. Palmer, K. T. V. Grattan. Effects of external reflector alignment in sensing applications of optical feedback in laser diodes[J]. *J. Lightwave Technol.*, 1996, 14(12):2672~2676