

文章编号: 1001-3806(2013)02-0265-05

适度反馈机制下非准直外腔二重反馈自混合干涉

陈小清 杨开勇* 谭中奇

(国防科学技术大学 光电科学与工程学院,长沙 410073)

摘要: 为了研究多重反馈对半导体激光器自混合信号的影响,运用三腔镜模型分析了多重反馈和非准直倍频现象,并进行了仿真分析和实验验证。通过仿真发现,第2重反馈相对于第1重反馈的相对强度 η 较大时能明显分辨出二重反馈,利用信号微分能区分出二重反馈信号,实现系统分辨率达到 $\lambda/4$,二重反馈之间非准直相位差会影响干涉信号波形。实验验证了外腔反射镜非准直抑制第1重反馈利用二重反馈实现非准直干涉条纹倍频现象,实验结果与仿真分析相符。该结论将有利于提高系统分辨率和判断外腔是否准直。

关键词: 激光技术;自混合干涉;二重反馈;非准直

中图分类号: TN247 **文献标识码:** A **doi:** 10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2013.02.031

Double feedback self-mixing interference under moderate feedback of misalignment cavity

CHEN Xiao-qing, YANG Kai-yong, TAN Zhong-qi

(College of Opto-Electronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: In order to study the influence of the multiple feedback on the self-mixing interference in laser diodes, double feedback effect and double frequency fringes phenomena were analyzed based on the three-mirror F-P model. After simulation, it is found that when the relative intensity η of the second trip light to the first is big enough, the image of interference can be recognized, and the two interferential signals of two trips can be distinguished by differential coefficients. The sensitivity of system can reach the value of $\lambda/4$. The phase differences affect the interference pattern. Experimental results are in good agreement with the simulation results. Experiments also validate the double frequency fringes phenomena, caused by the misalignment external reflector, could coupling the second trip light into laser without first trip. These obtained conclusions are helpful for improving the sensitivity of the system and judging whether the external cavity is alignment.

Key words: laser technique; self-mixing interference; double feedback; misalignment

引言

光反馈自混合干涉技术是一项精密测量技术,其系统结构简单、紧凑且易准直。该技术已广泛应用于位移^[1]、距离^[2]、速度^[3]、振动^[4]以及激光器自身参量^[5]等方面的测量。自混合干涉测量原理主要基于反馈光携带了外部反射体信息。在实际运用中,外部反射体条件远复杂于理想模型,因此会对自混合干涉信号产生一定的影响。通常情况下,对自混合干涉的研究主要基于外部反射体的一重反馈,考虑多重反馈时,会对系统输出波形造成影响,对其进行研究有助于提高分辨率和进行方向判别^[6-7]。本文中外部反射体反射率较高,半导体激光器多重

反馈自混合干涉现象和非准直干涉条纹倍频现象比较明显,作者基于适度反馈机制下对其进行了仿真分析和实验验证。

1 理论分析

对自混合干涉效应进行分析主要有三镜 F-P 腔法和 Lang-Kobayashi 速率方程法,作者主要运用三镜 F-P 腔法进行分析,其等效模型如图 1 所示。其中激光器腔长为 L ,外腔长为 l ,激光器两端面振幅反射率分别为 r_1 、 r_2 (通常 $r_1 = r_2$),外部反射体振幅反射率为 r_3 。在外腔高反射率条件下,第 2 次甚至高次往返光束不能忽略,会引起多重反馈现象,其效果类似于多外腔反馈,故采用与多外腔反馈类似方法进行分析^[8],在考虑两重反馈情况下激光器输出光强为^[9]:

$$I = I_0 \left\{ 1 + \frac{K\xi}{L} [\cos(\varphi + \phi_1) + r_2 r_3 \cos(2\varphi + \phi_2)] \right\} \quad (1)$$

作者简介: 陈小清(1986-)男,硕士研究生,主要从事光学检测技术的研究工作。

* 通讯联系人。E-mail: muyiky@163.com

收稿日期: 2012-05-23; 收到修改稿日期: 2012-06-27

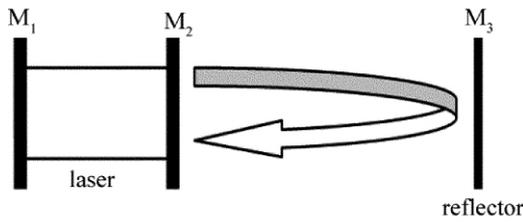


Fig. 1 F-P cavity model with three mirrors

式中 I_0 表示没有反馈的光强 K 为与激光器自身有关的系数 $\xi = \frac{1-r_2^2}{r_2} r_3$, φ 为激光在外腔往返一周的相位 ϕ_1 和 ϕ_2 分别为非准直引起的相位。考虑到半导体激光器有源区面积很小,其耦合到激光器里面的光与光路和光斑直径有着很大关系,将(1)式更改为:

$$I = I_0 \left\{ 1 + \frac{K\xi}{L} [f_1 \cos(\varphi + \phi_1) + r_2 r_3 f_2 \cos(2\varphi + \phi_2)] \right\} \quad (2)$$

式中 f_1 和 f_2 分别表示第 1 重和第 2 重反馈光的耦合效率。令:

$$G = \cos(\varphi + \phi_1) + \frac{r_2 r_3 f_2}{f_1} \cos(2\varphi + \phi_2) \quad (3)$$

通过对 G 进行分析就能实现对自混合干涉信号的研究。令 $\eta = \frac{r_2 r_3 f_2}{f_1}$ 表示第 2 重反馈光相对于第 1 重反馈的相对强度。则(3)式简化为:

$$G = \cos(\varphi + \phi_1) + \eta \cos(2\varphi + \phi_2) \quad (4)$$

当目标反射体倾斜满足一定条件时,可以抑制第 1 重反馈,实现光在外腔往返两周后耦合到激光器中,从而使自混合干涉条纹加倍,实现非准直干涉条纹倍频现象^[10],其原理如图 2 所示,当一束光从激光器射出到反射体上时,由于其非准直,光第 1 次反射不能返回到激光器中而是经过二次反射返回激光器中,此时外腔有效长度加倍,激光器自混合信号就会呈现单次反射的倍频,利用此原理可将系统分辨率提高为 $\lambda/4$ 。

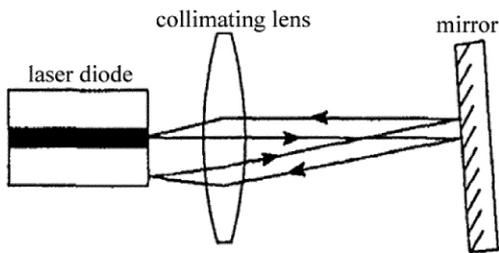


Fig. 2 Path of light in an external cavity with a tilted reflector

2 仿真分析

考虑二重反馈的情况下,采用 simulink 对自混合

信号进行仿真分析^[11-12],由于实验中 r_3 较大,反馈到激光器中光强较强,系统工作在适度反馈机制下,仿真基于适度反馈条件下进行。首先只考虑 η 的影响 ($\phi_1 = \phi_2 = 0$) 图 3 是 η 分别为 0, 0.1, 0.3 和 0.5 时的 G 的仿真波形,横轴是采样点数,纵轴是 G 值,反射体以 2λ 为振幅的正弦方式振动。

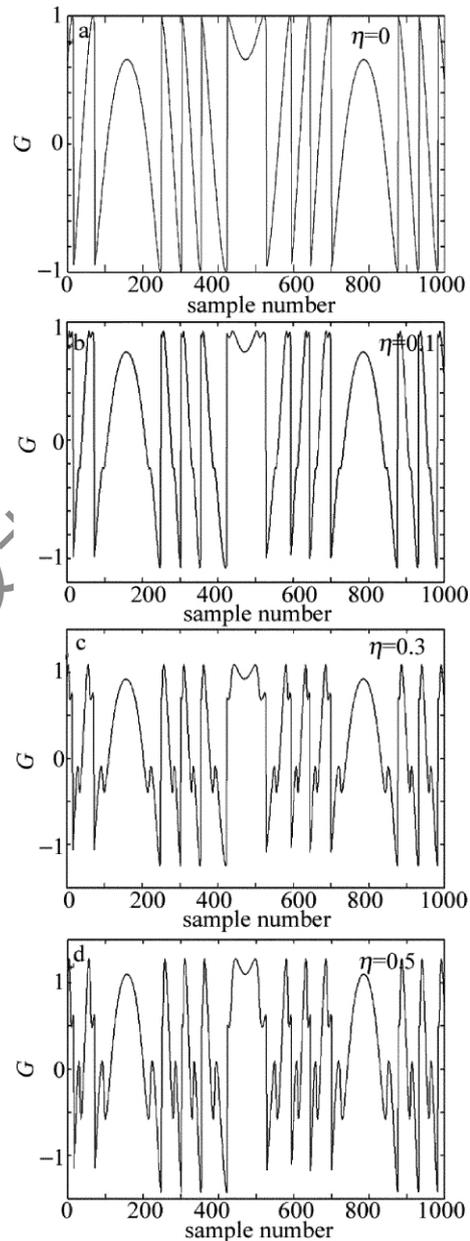


Fig. 3 Self-mixing interference signals of different η

从图 3 中可以看出,第 2 重反馈的干涉条纹会和第 1 重反馈的条纹叠加在一起, η 值越大,二重反馈干涉条纹幅度就越大, $\eta = 0.3$ 时就能明显分辨出小的干涉条纹。在适度反馈机制下,二重反馈干涉条纹可能出现在第 1 重条纹两侧,导致不能用参考文献[7]中的方法进行方向判别。图 4 是对 η 分别为 0, 0.1, 0.3 和 0.5 干涉信号进行微分处理后的信号。

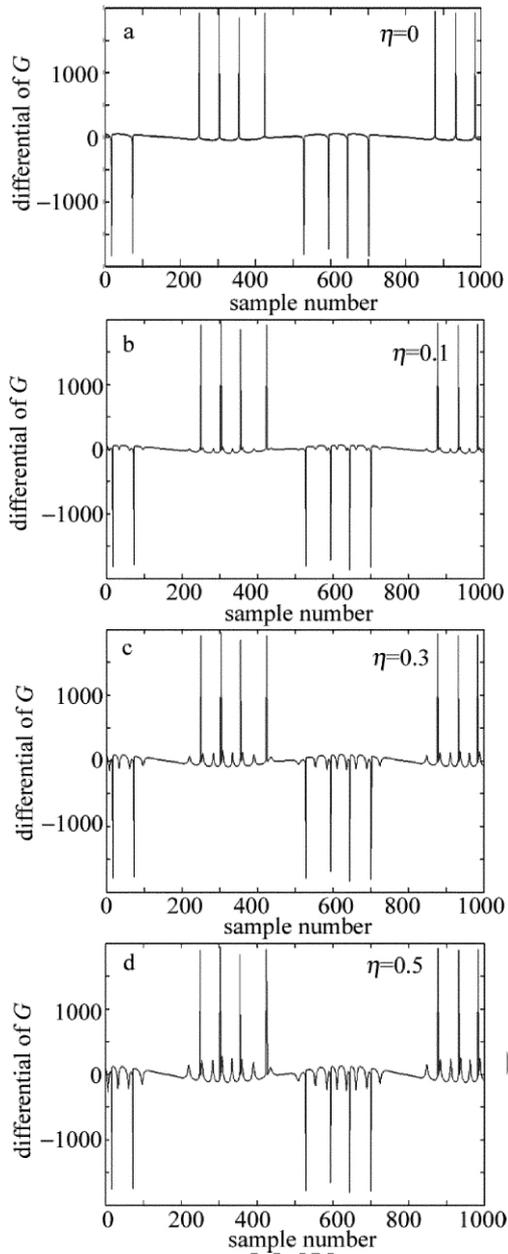


Fig. 4 Differential coefficient signals of different η

从图 4 中可以得到有二重反馈时,微分信号会出现小的脉冲,利用微分信号脉冲的大小能区分出一重反馈信号和二重反馈信号,对微分信号进行计数,可以明显看到二重反馈频率为一重反馈的 2 倍,这时系统频率提高到了 $\lambda/4$,但 η 值较小时信号不明显,在实验条件下可能会被淹没在噪声中,随着 η 值的增大,二重反馈微分脉冲越明显,但二重反馈信号微分脉冲在靠近波形转折点时会更小,且容易与一次反馈信号脉冲相重合,导致可能分辨不出。

除了 η 值的影响外,由于光路非准直等因素引起 ϕ_1 和 ϕ_2 之间的差值对信号形状影响较大,为便于仿真,令 $\phi_1 = 0$,在 $\eta = 0.3$ 的情况下,对不同的 ϕ_2 值波形进行了仿真。图 5 中是 ϕ_2 分别为 $0, \frac{\pi}{8}, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3\pi}{2}$

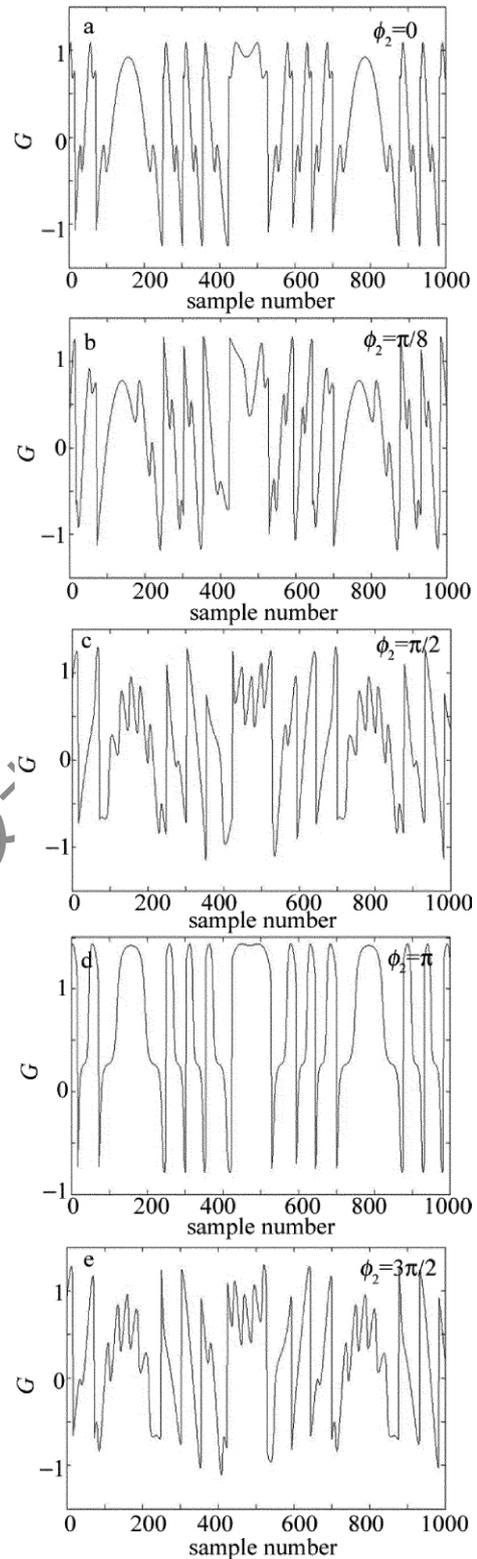


Fig. 5 Self-mixing interference signals with different ϕ_2 时的波形。

从图 5 中可以看出,二重反馈之间的非准直相位差严重影响着自混合干涉输出信号的形状,其影响二重反馈干涉条纹出现的位置,从而造成波形畸变。分别对上述情况进行微分,结果如图 6 所示。

从图 6 中的微分信号能够更加明显看出 ϕ_2 影响

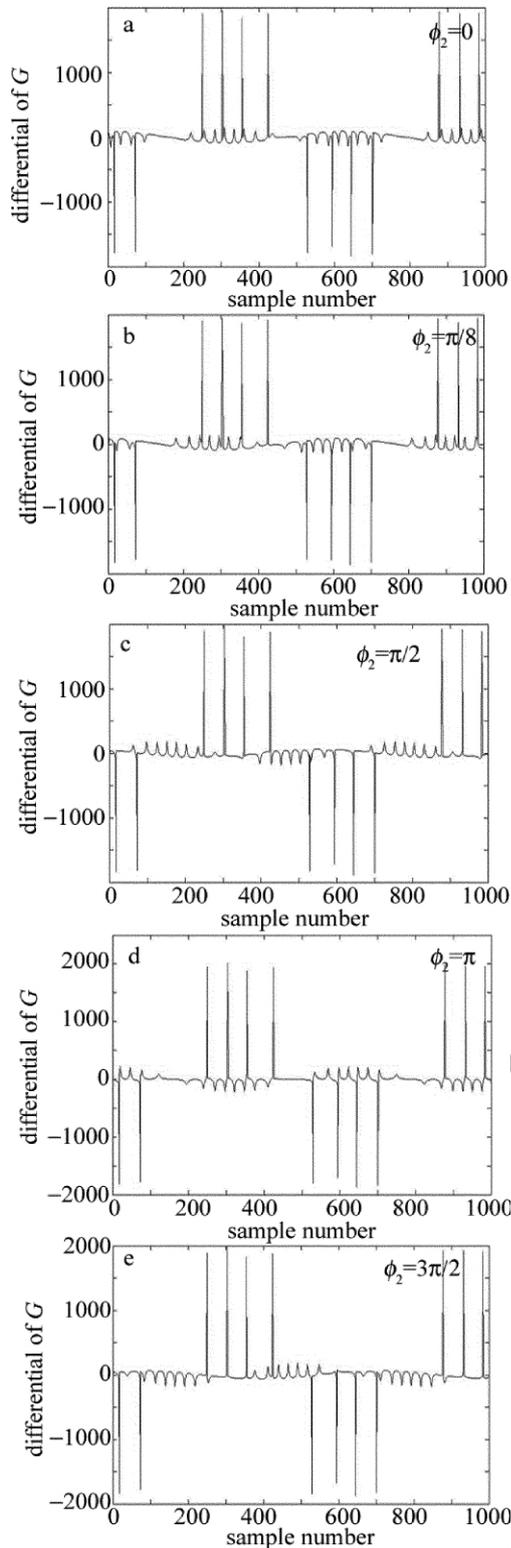


Fig. 6 Differential coefficient signals of different ϕ_2

第二重反馈出现的位置,同时通过微分信号可以从一定程度上判断系统是否准直。

3 实验

实验装置方框图如图 7 所示。采用信号源驱动压电陶瓷作为振动目标,其上粘贴有镀银反射镜,故实验中 r_3 较大。光电二极管统一封装在半导体激光器内,

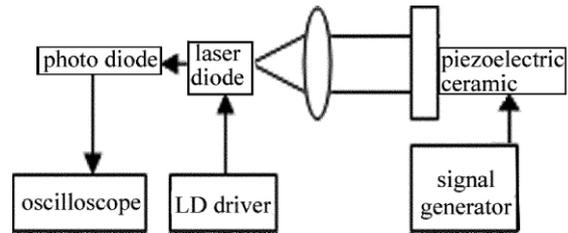


Fig. 7 Experiment setup

光电流转化为电压信号后由示波器接收观察。

调节压电陶瓷倾斜角度,使第 2 重反馈光与第 1 重相重合,便于二重反馈光耦合到激光器中。图 8 为不同情况下的二重反馈自混合干涉信号波形(见图中曲线 1)和对其进行微分的波形(见图中曲线 2)。其中图 8a 为光路准直时的图像,图 8b~图 8d 分别为在图 8a 的基础上继续调节压电陶瓷倾斜角度时的图像。

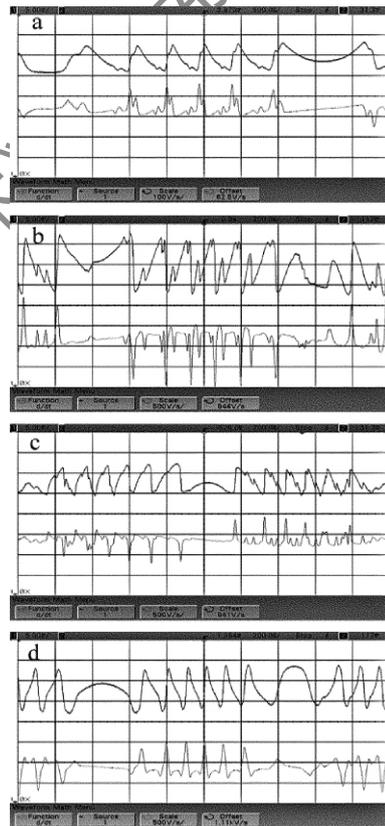


Fig. 8 Experimental self-mixing interference signals

通过对比发现,图 8a~图 8d 分别与图 5a~图 5d 相类似,较好地验证了理论分析和仿真结果。从实验微分波形可以得到二重反馈干涉条纹频率是一重反馈的 2 倍,对其进行有效利用能够提高系统分辨率。同时,由于二重反馈之间的相位差,会引起二重反馈干涉条纹出现位置的改变,从而可能引起干涉信号波形形状畸变。从实验微分波形和仿真微分波形对比,不难发现实验微分脉冲宽度远宽于仿真波形,第 2 重反馈微分信号时常与第 1 重微分信号叠加,且较小的二重反馈信号易受微分信号本身起伏影响,对其进行分辨

要求有更大的二重反馈相对强度。

继续调节激光器或者反射体倾斜角度,会出现抑制第 1 重反馈耦合进激光器、只有第 2 重反馈引起的干涉条纹的倍频现象,如图 9 所示。

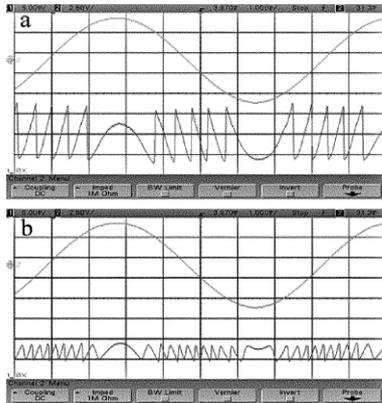


Fig.9 Normal self-mixing interference signals and second feedback self-mixing interference signals

图 9a 为普通干涉信号,图 9b 为非准直二重反馈干涉信号(图中曲线 1 为压电陶瓷驱动信号,曲线 2 为自混合干涉信号),可以看到干涉条纹频率加倍,但系统输出幅度较小,分析其原因为光束经过激光器端面反射,造成第 2 次往返光束光强度减小,耦合到激光器中光强减小。

4 结 论

通过对多重光反馈进行分析仿真,在适度反馈情况下,研究了二重反馈相对于第 1 重反馈的相对强度 η 和二重光反馈之间的非准直相位差对自混合干涉信号的影响,仿真分析和实验结果吻合较好。研究表明,第 2 重反馈光会对自混合信号波形造成重要影响, η 影响第 2 重干涉条纹的大小;第 2 重光与第 1 重光之间的非准直相位差影响第 2 重干涉条纹在第 1 重条纹上的叠加位置,从而造成自混合波形畸变,通过对其研究有利于对实验干涉波形的识别,并可以一定程度上判断外腔是否准直。通过对信号进行微分处理,可以得到倍频信号,从而将系统的分辨率提高到 $\lambda/4$;在适

度反馈机制下,第 2 重干涉条纹可能出现于第 1 重条纹两侧,不能使用二重反馈条纹出现的位置对目标进行运动方向判别。非准直干涉条纹倍频现象能够有效提高系统分辨率,但系统输出幅度会降低。

参 考 文 献

- [1] SMITH J A, RATHE U W, BURGER C P. Lasers with optical feedback as displacement sensors [J]. *Optical Engineering*, 1995, 34(9): 2802-2810.
- [2] SUN X M, MA J Sh, QIANG X F. Study on theoretical models of absolute distance measurement based on the self-mixing interference in laser diode [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 1998, 19(3): 1-5 (in Chinese).
- [3] JENTINK H W, de MUL F F M, SUICHIES H E, *et al.* Small laser Doppler velocimeter based on the self-mixing effect in a diode laser [J]. *Applied Optics*, 1988, 27(2): 543-548.
- [4] HU X F. Measurement of vibration with self-mixing interference [J]. *China Measurement & Test*, 2009, 35(1): 97-99 (in Chinese).
- [5] YU Y G, YAN Y X. An approach for measuring parameters of semiconductor lasers [J]. *Laser & Infrared*, 2006, 32(2): 114-117 (in Chinese).
- [6] YU Y G, CHENG M, QIANG X F. Self-mixing interference effects in a laser diode with multiple optical feedback [J]. *Acta Optica Sinica*, 2001, 21(9): 1093-1098 (in Chinese).
- [7] WANG Zh B, ZHAO J L, DI N, *et al.* Self-mixing interference of non-alignment cavity He-Ne laser [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2009, 36(11): 2842-2848 (in Chinese).
- [8] WANG M, NIE Sh P, LI D Ch. Self-mixing interferometry of dual external cavities and its signal analysis [J]. *Acta Optica Sinica*, 2003, 23(6): 729-733 (in Chinese).
- [9] LIU G, ZHANG Sh L, ZHU J, *et al.* Theoretical and experimental study of intensity branch phenomena in self-mixing interference in a He-Ne laser [J]. *Optics Communications*, 2003, 221(4/6): 387-393.
- [10] ADDY R C, PALMER A W, GRATAN K T V. Effects of external reflector alignment in sensing applications of optical feedback in laser diodes [J]. *Journal of Lightwave Technology*, 1996, 14(12): 2672-2676.
- [11] PLANTIER G, BES C, BOSCH T. Behavioral model of a self-mixing laser diode sensor [J]. *IEEE Journal of Quantum Electronics*, 2005, 41(9): 1157-1167.
- [12] ZANG F Y, YE H Y, LI Sh Y. Behavioral model of an optical feedback sensor based on high optical feedback [J]. *Laser & Infrared*, 2011, 41(5): 511-515 (in Chinese).