

光反馈光强度参数的频率响应

陈小清, 杨开勇, 谭中奇

(国防科技大学光电科学与工程学院, 湖南长沙 410073)

摘要:对 2 kHz 以下频率范围的压电陶瓷振动自混合干涉现象进行了实验观察和测量。实验中发现在固定光路和恒流驱动情况下, 光反馈强度参数 C 会随着压电陶瓷振动频率的变化而变化, 对该现象进行了理论分析, 并对光反馈强度因子 C 和线宽展宽因子 α 进行了测量, 验证了 α 为不同压电陶瓷振动频率下引起 C 值变化的因素。

关键词:自混合干涉; 光反馈强度参数; 频率响应; 线宽展宽因子

中图分类号:TN247 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2013.06.004

Frequency response of optical feedback strength factor

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:The self-mixing interference caused by the vibration of piezoceramics was experimentally observed and measured below 2 kHz. The optical feedback strength factor C changes with the vibration frequency of piezoceramics, when the light path and laser drive current are constant. This phenomenon was theoretically analyzed. The optical feedback strength factor C and the spectral width enhancement factor α were also measured. The results validate that the factor α causes the change of C at the different vibration frequency of piezoceramics.

Key words:self-mixing interference; optical feedback strength factor; frequency response; linewidth enhancement factor

1 引言

光反馈自混合干涉效应(简称自混合干涉)是指激光器的输出光被外部物体反射或散射后,其中一部分光被反馈回激光器的谐振腔,反馈光携带了外部物体的信息,与腔内光相混合后,调制激光器输出功率的现象。自混合干涉系统有两个重要的参数:光反馈强度参数 C 和激光器线宽展宽因子 α ^[1]。光反馈强度参数 C 用来表征外部光反馈水平的高低,它影响着激光器工作状态^[2]和自混合干涉输出^[3],对自混合干涉系统运用于测量领域有着十分重要的影响。根据不同的 C 值大小,通常将自混合干涉分为弱反馈、适度反馈、强反馈三种机制。影响 C 大小的因素主要是外部反馈光耦合到激光内的大小、外部反射体与激光器之间的距离等,对其进行控制主要是进行光路调节、改变外部物体反射率和进行光衰减等方法。但激光器自身因素还会影响 C

值大小,本文在实验中发现,在固定光路和恒流源驱动的情况下,随着外部物体振动频率变化, C 也会相应发生变化。

2 基础理论

目前对于自混合干涉的理论分析主要有两种理论:三镜腔法和 Lang-Kobayashi 速率方程法。两种方法对于单模激光器有着相同的数学模型:

$$\begin{cases} \nu_F = \nu_0 - \frac{C}{2\pi\tau} \sin[2\pi\nu_F\tau + \arctan(\alpha)] \\ I_F = I_0 [1 + m \cos(2\pi\nu_F\tau)] \\ G_F = \cos(2\pi\nu_F\tau) \end{cases} \quad (1)$$

式中, ν_F, ν_0 分别为有光反馈和无光反馈时的激光

基金项目:国家自然科学基金项目(No. 61205157)资助。

作者简介:陈小清(1986-),男,硕士在读,主要从事光学检测技术的研究工作。E-mail:chenxiaqing_000@163.com

收稿日期:2012-11-29

频率; τ 为激光在往返外腔(激光出射端与外部反馈物体)一周的时间; I_F, I_0 为有光反馈和无光反馈时的激光光强; m 为光强调制系数; G_F 为干涉函数。

3 实验

实验系统如图 1 所示,系统采用激光器和光电二极管统一封装的激光器,利用信号源驱动压电陶瓷作为外腔振动源,光由压电陶瓷反射经透镜聚焦后返回激光器内部,信号经电压转换后进行放大、输入示波器进行观察测量。

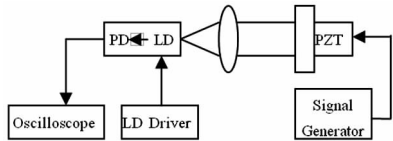


图1 实验系统装置

Fig.1 the experiment setup

实验中压电陶瓷距离激光器约 10 cm,利用恒流电路驱动激光器,压电陶瓷采用正弦波驱动,首先对光路进行调节,使反馈光尽量耦合到激光器内,使系统工作在适度反馈机制下,观察输出信号为类锯齿波。固定光路,逐渐增大压电陶瓷驱动频率,示波器观察到输出信号如图 2 所示,图 2(a) ~ 图 2(f) 分别为 77 Hz, 380 Hz, 652 Hz, 974 Hz, 1279 Hz, 1859 Hz 时的自混合信号(图中上部曲线为压电陶瓷驱动信号,下部曲线为自混合信号)。

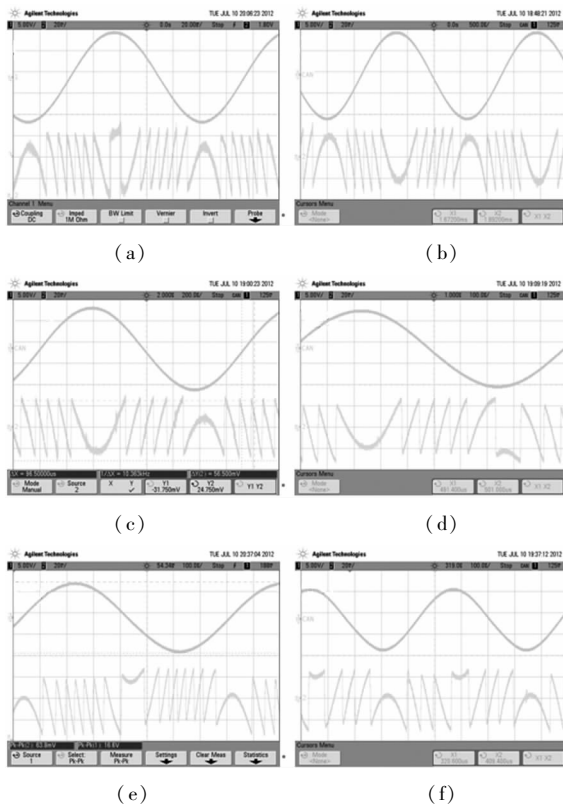


图2 不同振动频率自混合信号

Fig.2 self-mixing interference signals of different frequency

从图 2 中可以明显看出,各频率自混合信号形状发生了变化,压电陶瓷振动的正行程对应的自混合信号上下条纹谷值(峰值)呈现出明显的变化,而能够引起这一现象的因素主要是光反馈强度参数 C ^[4], C 值的增大会引起上条纹谷值的增大和下条纹峰值的减小。由此可见,在光路固定的情况下,自混合干涉系统光反馈强度参数 C 可能受外部电陶瓷振动频率变化的影响。表 1 是利用谷峰差值法对各频率信号 C 值进行测量的数据(表中为五次重复测量平均值, $\delta C/\hat{C}$ 为标准差与测量平均值百分比)。

表 1 不同频率下 C 的测量值

Tab.1 experimental value of C under different frequency

频率/Hz	77	380	652	974	1279	1859
\hat{C}	1.94	1.73	1.36	2.00	2.15	1.80
$(\delta C/\hat{C})/\%$	0.8	2.3	5.0	1.5	0.7	1.2

值得注意的是,表 1 所列并非在此频率范围内 C 的变化呈现先减小后增大的趋势,其在较小的范围内的频率变化也可能也会出现 C 值变化的极值点。本文中实验由于在较小范围内 C 变化程度较小,且对 C 值或自混合系统其他参数测量精度不高的原因,为较好分析其现象成因,特选出其中变化较大易于进行测量的加以分析。

4 分析讨论

C 的定义式如下:

$$C = \frac{\xi\tau}{\tau_l} \sqrt{1 + \alpha^2} \quad (2)$$

其中, ξ 为外光耦合率; τ 为激光在外腔往返一周的时间; τ_l 为激光在激光器内往返一周的时间; α 为激光器线宽展宽因子。当自混合干涉系统光路固定时, ξ, τ, τ_l 的值均已固定,唯一的可变量为 α ,故当压电陶瓷振动频率变化时,理论上引起 C 值改变的主要原因为激光器线宽展宽因子。

半导体激光器线宽展宽因子是影响激光器谱线宽度的重要参数,它不仅直接影响半导体激光器的谱线宽度,而且会对激光器的模式稳定,电流调制下的啁啾,光反馈半导体行为等产生影响^[5-6]。线宽展宽因子可能随着外部调制频率的变化而变化^[7-9],表 2 为通过测量自混合信号滞回宽度的方法^[10]得到的 α 值。

表2 不同频率下 α 的测量值
Tab.2 experimental value of α under
different frequency

频率/Hz	77	380	652	974	1279	1859
$\hat{\alpha}$	12.2	10.7	5.8	12.0	14.0	10.9
$(\delta\hat{\alpha}/\hat{\alpha})/\%$	7.4	11.3	8.6	12.5	16.0	8.4

从表2与表1对应关系可以看出,测量所得 C 值越大,则 α 值也越大,但其并不严格满足式(2)所示的比例关系。分析其原因主要可能是对 C 和 α 的测量有一定的误差,除自混合系统输出信号噪声造成的误差外,特别是滞回宽度法测量 α 值存在较大误差,对 C 值的测量也存在一定的理论误差,尤其在 C 值比较小时。

5 结论

通过对不同频率压电陶瓷振动频率下适度反馈自混合信号的观察和测量,实验发现了光反馈强度参数 C 会随着振动频率变化而改变。对 2 kHz 以下频率范围内的自混合干涉进行了实验观察和测量,对其分析发现,在恒流驱动和固定光路条件下,理论上影响 C 的因素为激光器线宽展宽因子 α ,通过对 α 的测量验证了分析结果。

参考文献:

- [1] R Lang, K Kobayashi. External optical feedback effects on semiconductor injection laser properties [J]. IEEE J. Q. E, 1980, 16(3): 347-355.
- [2] R W Tkach, A R Chraplyvy. Regimes of feedback effects on semiconductor laser properties [J]. IEEE Journal of Lightwave Technology, 1986, 4(11): 1655-1661.
- [3] Sun Xiaoming, Yu Yanguang, Qiang Xifu. Condition for

the sawtooth-like waveform of self-mixing interference signal [J]. Optical Technology, 1999, 2(2). (in Chinese)

孙晓明, 禹延光, 强锡富. 半导体激光自混合干涉类锯齿波成立条件 [J]. 光学技术, 1999, 2(2).

- [4] Yu Yanguang, Yan Yanxia. Emulation analysis of the relationship between measuring parameters and optical feedback self-mixing signal [J]. Optics & Optoelectronic Technology, 2005, 35(5): 33-35. (in Chinese)
- 禹延光, 闫艳霞. 仿真分析测量参数对光反馈自混合信号的影响 [J]. 光学与光电技术, 2005, 35(5): 33-35.
- [5] C H Henry. Theory of the linewidth of semiconductor lasers [J]. IEEE J. Quantum Electron, 1982, QE-18(2): 259-264.
- [6] H Su, L Zhang, A L Gray, et al. Linewidth study of InAs-InGaAs quantum dot distributed feedback lasers [J]. IEEE Photon. Technol. Lett, 2004, 16(10): 2206-2208.
- [7] Jean-Guy Provost, Frederic Grillot. Measuring the chirp and the linewidth enhancement factor of optoelectronic devices with a mach-zehnder interferometer [J]. IEEE Photonics Journal, 2011, 3(3): 476-488.
- [8] Sven Gerhard, Christian Schilling, Florian Gerschütz, et al. Frequency-dependent linewidth enhancement factor of quantum-dot lasers [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2008, 20(20): 1736-1738.
- [9] Thomas Fordell, Simo Valling, sa Marie Lindberg. Modulation and the linewidth enhancement factor of a diode-pumped Nd:YVO₄ laser [J]. Optics Letters, 30(22): 3036-3038.
- [10] Yanguang Yu, Guido Giuliani. Measurement of the linewidth enhancement factor of semiconductor lasers based on the optical feedback self-mixing effect [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2004, 16(4): 990-992.