

文章编号:1001-5078(2004)03-0229-02

电流调制激光引入的非稳散粒噪声的测量

马杰, 黄涛, 赵延霆, 肖连团, 贾锁堂

(山西大学物理电子工程学院, 量子光学与光量子器件国家重点实验室, 山西太原 030006)

摘要:利用锁相放大器, 结合对 Labview 软件编程, 研究了电流调制激光引入的非稳散粒噪声。通过对噪声功率谱的多次平均和快速傅立叶变换, 有效地测量了非稳散粒噪声的频谱特性, 研究结果表明非稳散粒噪声具有确定的相位依赖特性。

关键词:非稳散粒噪声; 锁相放大器; Labview 软件

中图分类号: TN247

文献标识码: A

Measurement of Non-stationary Shot Noise Induced by Current Modulated Laser Using Lock-in Amplifier

MA Jie, HUANG Tao, ZHAO Yan-ting, XIAO Lian-tuan, JIA Suo-tang

(State Key laboratory of Quantum Optics and Quantum Optics Device, College of Physics and Electronics Engineering, Shanxi University, Taiyuan 030006, China)

Abstract: By using Lock-in amplifier and efficient program with Labview, non-stationary shot noise induced by current modulation to diode laser is studied. After average of power noise spectrum and fast Fourier translation, the power density spectrum of non-stationary shot noise is measured effectively, and the phase dependence characteristic of non-stationary shot noise is proved.

Key words: Non-stationary shot noise; lock-in amplifier; labview software

1 引言

对二极管激光器的电流(电压)调制, 以及对调制信号的相关检测已被广泛应用到高分辨及高灵敏激光光谱的研究中。但是, 对激光器的电流调制同时会引入非稳散粒噪声^[1,2]。这种非稳散粒噪声的特点是: (1) 叠加于散粒噪声中, 在频域上处于调制频率的 $1/2$ 处; (2) 噪声的功率谱密度具有相位依赖特性。1991年, Niebauer et al.^[1]在对重力波探测器中的高噪声背景的研究中, 首次在 40.4kHz 调制下发现了 $1/2f_m$ (f_m 为调制频率) 处的非稳散粒噪声, 同时发现, 改变解调相位可以增大或减小噪声的功率谱密度。这意味着, 通过选取适当的解调相位, 可以获得最小散粒噪声, 进而达到提高信噪比的目的^[3~5]。目前, 国际上这方面的研究多采用价格昂贵的低频频谱分析仪进行多次累加后获得散粒噪声功率谱, 测量周期长, 效果不明显。这里, 我们利用锁相放大器对噪声信号的 $1/2f_m$ 频率处解调, 通过计算机进行数据采集, 得到离散的散粒噪声的时域信号; 基于 Labview 软件中的 FFT Power Spectrum 控件对时域信号进行离散傅立叶变换并进行多次累加, 得到非稳散粒噪声的频谱。对 Labview 软件编程实现对锁相放大器解调相位的控制, 研究不同解调相

位所对应的噪声功率谱。

2 实验装置

实验装置如图 1 所示, 实验中采用外腔式连续可调谐二极管激光器(New Focus Model 6017)产生的激光作为载波。激光器的工作温度为 26℃, 波长为 852nm, 功率约为 7.4mW, 输出激光在短时间内的线宽小于 300kHz (50ms 内)。射频函数发生器(Fluke 6061A)产生的射频信号作为声光调制器(Crystal Technology 3080-122)的驱动源, 任意波形函数发生器(HP33120A)输出的 40.4kHz 低频正弦调制信号, 作为外部振幅调制源加载到射频信号发生器上, 对输出激光进行振幅调制, 振幅调制度为 93.5%。经过调制的输出光, 被 50% 的能量分光镜片分为两束, 分别进入两个具有相同量子效率的 Si 光电探测器(Hamamatsu S3884), 输出的电信号通过减法器实现信号相减(残余调制信号约为直接测量信号的 0.9%), 然后利用 30.3kHz 的低通滤波器

基金项目: 国家自然科学基金(10174047); 山西省留学基金资助

作者简介: 马杰(1980-), 男, 2003年在山西大学获得理学学士学位, 现在山西大学物理电子工程学院(量子光学与光量子器件国家重点实验室)攻读光学专业硕士学位。

收稿日期: 2003-11-17

(Model SR640)滤波后,得到包含低频散粒噪声(含非稳散粒噪声)的信号。将噪声信号施加到锁相放大器(SR830)实现1次谐波解调,采用的参考信号为任意波形函数发生器的同步信号经过分频后得到的20.2kHz分频信号。

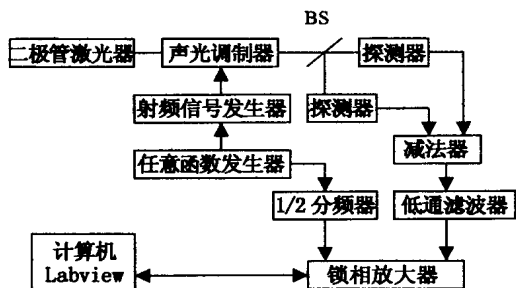


图1 实验装置图

3 实验程序与信号分析

3.1 利用Labview软件编程对锁相放大器进行控制

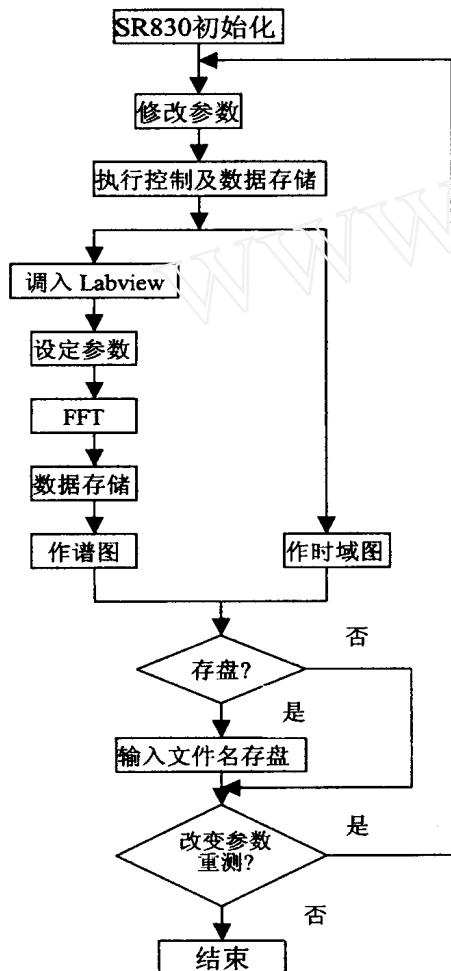


图2 非稳散粒噪声数据处理程序流程图

锁相放大器(SR830)提供了两种接口(RS232和GPIB)与计算机通信,并提供了齐全的控制指令,微机可以对其实现全部功能的远程控制。锁相放大器作为数据通信设备(DCE),同时支持CTS/DTR的硬件握手协议,使用ASCII码与微机通信,这就保证了我们使用Labview这种虚拟仪器软件进行数据分析处理的可行性^[6]。

程序流程如图2所示。

3.2 非稳散粒噪声的低频频谱测量及相位依赖性分析

在实验中,使用Labview软件与锁相放大器的数据端口通信,得到离散的非稳散粒噪声的时域信号,对其运用Labview软件中的FFT Power Spectrum控件进行离散傅立叶变换,并进行功率谱的多次平均,得到了非稳散粒噪声在低频段的功率谱,如图3所示。

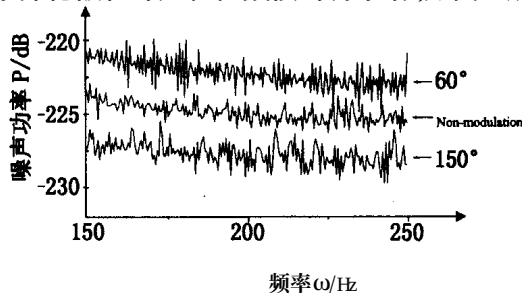


图3 非稳散粒噪声功率谱

图中三条曲线分别为60°解调相位、无调制和150°解调相位情况下得到的噪声功率谱。可见对应不同的解调相位,噪声的功率谱强度也相应不同。研究表明:当解调相位为60°时,噪声功率谱达到最大值;当解调相位为150°时,噪声功率谱达到最小值,且最大值和最小值之间的相位间隔为90°,无调制的情况下,得到的功率谱处于最大值和最小值中间。最小值相对无调制情况相比,噪声功率降低3dB左右。

4 结论

利用锁相放大器的相敏检波功能,结合Labview编程,有效地测量了具有相位依赖特性的非稳散粒噪声。这种测量方法在参数设定和操作等方面显示出了较强的灵活性。在实验中,我们对非稳散粒噪声的 $1/2f_m$ 处的频谱进行了测量,发现通过选择合适的解调相位可以获得最小非稳散粒噪声,从而得到低于无调制散粒噪声基准约3dB的背景噪声。

参考文献:

- [1] T Niebauer, R schilling, et. al. Nonstationary shot noise and its effect on the sensitivity of interferometers[J]. Phys. Rev. A, 1991, 43: 5002 - 5029.
- [2] B Meers, K Strain. Modulation signal and quantum noise in interferometers[J]. Phys. Rev. A 1991, 44: 4693 - 4703.
- [3] M B Gray, A J Stevenson. Harmonic demodulation of nonstationary shot noise[J]. Opt. Lett. 1993, 18: 759 - 761.
- [4] Malik Rakhmanov. Demodulation of intensity and shot noise in the optical heterodyne detection of laser interferometers for gravitational waves[J]. Appl. Opt. 2001, 40: 6596 - 6605.
- [5] P Winzer. Shot noise formula for time-varying photon rates: a general derivation[J]. J. Opt. Soc. Am. B 1997, 14: 2424 - 2429.
- [6] 张临杰,肖连团,等.利用数字锁相放大器进行谐波探测的实验研究[J].激光与红外,2000,30(5):311 - 313.