

140-143

第4卷第5期
1996年10月光学 精密工程
OPTICS AND PRECISION ENGINEERINGVol. 4, No. 5
October, 1996

双频光栅剪切干涉术在激光 光场相干性测量中的应用

钱江源 明海[√] 谢建平
(中国科技大学物理系, 合肥 230026)

TX241

A 摘要 本文描述了用 CCD 摄像机及图像处理系统在双频光栅剪切干涉光路中测量激光光场相干性的原理和实测结果, 讨论了其在飞秒激光脉冲相干性测量中的应用。

关键词: 双频光栅剪切干涉术; 激光光场; CCD 摄像机

1 引言

24

双频光栅剪切干涉术具有装置简单、干涉条纹对比度高, 不需要防震措施, 调整方便, 实时等优点。双频光栅剪切量随观察距离而改变, 可以连续变化并可得到很小的剪切量, 使得它在光场相干性的测量中有极优越的应用条件。计算机的推广应用以及高速图像转换装置 CCD 摄像机的问世, 使得干涉条纹图的记录与处理发生了革命性的变化。以往的双曝光法用全息干板或照相底片作记录介质, 繁琐费时, 后继处理手段乏力。运用 CCD 摄像机和图像卡的高速转换图像成数字灰度图的能力实时地记录干涉图, 并利用计算机的大容量内存和高速处理运算能力, 为干涉条纹的全自动或半自动处理开辟了道路。本文介绍了双频光栅剪切干涉术测量激光光场相干性的实验方法, 给出了测量多模半导体激光器时间相干性的铜蒸气激光束空间相干性的实验方法和测量飞秒激光脉冲光场相干性的实验结果。

2 基本原理

1973年 J. C. Wyant 首次提出用双频光栅构成剪切干涉仪。双频光栅是用两次曝光法在一张全息底片上制作两个空间周期相差很少的光栅, 这种复合光栅将入射光波同时衍射成有较小夹角的两个 +1 级分量相互迭加产生干涉条纹, 显然这是波前剪切干涉产生的条纹。当观察距离改变时, 两波前剪切量和条纹的可见度也随着改变, 这样双频光栅所在平面上的光场的相干性可方便地测得。由于双频光栅衍射形成的两相干波面的角剪切量很小, 因而可使光束产生的光程差极小, 其相干性很高, 可以测量时间相干性或空间相干性较差的激光束。实验装置如图1所示:

收稿日期: 1995年8月5日

激光束垂直照明双频光栅 DH, 由 CCD 摄像机接受剪切干涉条纹, 通过 DIP 图像处理卡由微机系统处理直接获得条纹可见度。当 CCD 接收器距离改变, 两波前的剪切量和条纹的可见度也随着改变。这样就可以得到可见度随剪切量变化的曲线。

设双频光栅的常数为 d_1 和 d_2 , 观测方向与光轴成 θ 角, 光栅的透射函数为:

$$t(x) = \frac{1}{4} \left[1 + \cos \frac{2\pi x}{d_1} \right] + \frac{1}{4} \left[1 + \cos \frac{2\pi x}{d_2} \right] \quad (1)$$

两个 +1 级分量的强度分布为:

$$I = \frac{I_0}{32} \left[1 + \cos \frac{2\pi x}{d'} \right] \quad (2)$$

$\frac{1}{d'} = \frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2}$ 为双频光栅拍频周期, I_0 为入射光强度。

对于光谱分布为高斯函数的连续光光束, 测量其时间相干性。光谱用高斯函数 $e^{-\frac{(\omega-\bar{\omega})^2}{\sigma^2}}$ 来近似, CCD 接收面上条纹强度为:

$$I = A \left[1 + e^{-\frac{\sigma^2}{2} \left(\frac{2\pi x}{d'} \right)^2} \cos \frac{2\pi x}{d'} \right] \quad (3)$$

其中 A 为常数, σ 为激光谱宽, $d = \frac{d_1 + d_2}{2}$, x 为双频光栅与 CCD 接受器的轴向距离则条纹的可见度由下式表示:

$$V(z) = e^{-\frac{\sigma^2}{2} \left(\frac{2\pi z}{d'} \right)^2} \quad (4)$$

用毛玻璃目视观察条纹第一次消失位置, 由瑞利分辨率判据 $\sigma = 0.3384(d'd/Z)$, 从而可求得激光光谱宽度, 这种方法用于测量多模半导体激光器的时间相干性^[1]。用双频光栅剪切干涉法可以测量各类激光束的空间相干性。我们曾对溴化铜蒸汽激光束进行测量^[2], 铜蒸汽激光管口径和长度分别为 20 mm 和 40 cm, 两端布氏窗口相距 1 m, 双脉冲放电激励, 工作温度 480 °C, 用 4f 傅氏变换光路测量, 双频光栅位于 4f 系统的前焦面上, 测量平面在后焦面以远。实验结果表明无腔铜蒸汽激光束仍具有一定的空间相干性, 只有一个反馈腔片时相干直径为 0.24 mm。这种相干性的测量有助于解决图像亮度放大中的分辨问题, 同时可以为无腔激光束空间相干性和选空间模激光器等研究提供实验手段。双频光栅剪切干涉法还可用来检测自锁模钛宝石激光器飞秒脉冲的相干性。对于飞秒脉冲激光, 其光脉冲为双曲正割型, 仅考虑单色时, CCD 接收面上条纹强度为:

$$I = 1 + \operatorname{sech} \left[\frac{2\pi Z}{\omega d' t_0} \cos \theta \right] \cos \frac{2\pi x}{d'} \quad (5)$$

其中 t_0 为脉冲半高宽。

实际上光脉冲还有一定的谱宽, 其谱线为高斯函数型。在锁模情况下, 激光在各个分离纵模下运转, 各纵模之间相差 $2L/c$, 其中 L 为钛宝石激光腔长, c 为光速。因此条纹强度为各个模式的加权迭加为:

$$I = \sum_{-N}^N \left[1 + \operatorname{sech} \left(\frac{2\pi Z}{\omega d' t_0} \cos \theta \right) \cos \frac{2\pi x}{d'} \right] e^{-1 \operatorname{sech} \frac{(\omega - \bar{\omega})^2}{(\Delta\omega)^2}} \quad (6)$$

其中 $2N + 1$ 为纵模数据, $\Delta\omega$ 为脉冲的谱宽, $\bar{\omega}$ 为中心频率。

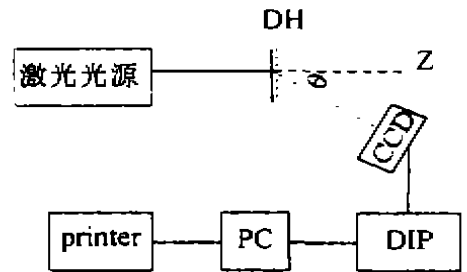


图1 激光光场相干性测量装置图

由此可得条纹的可见度为:

$$V(Z) = \frac{\sum_{-N}^N \operatorname{sech}\left(\frac{2\pi Z}{\omega d'} \cos\theta\right) e^{-1.665 \frac{(\omega - \bar{\omega})^2}{(\Delta\omega)^2}}}{\sum_{-N}^N e^{-1.665 \frac{(\omega - \bar{\omega})^2}{(\Delta\omega)^2}}} \quad (7)$$

3 实验结果和数据处理

实验光路按图1所示,双频光栅的平均周期 \bar{d} 为 $1.136 \mu\text{m}$,拍频周期 d' 为 0.967 mm ,一级平均衍射角 $\bar{\theta}$ 为 $32^\circ 52'$,在处理过程中最大的困难是去噪声。噪声的来源是多方面的,主要是背景光同信号一起采集进来的杂散光,CCD感光面本身不够清洁,落有尘埃,将使采集到的图像上有大小不同的黑点等。处理时可由人工选取较理想的部分,除去那些粗大噪声点。由于干涉条纹是平直的,用CCD接收到干涉条纹后即沿着干涉条纹的走向对光强进行加权平均,得到一维光强分布。图2为锁模钛宝石激光脉宽为 18 ns ,观察距离 Z 为 5 mm 时的条纹图。

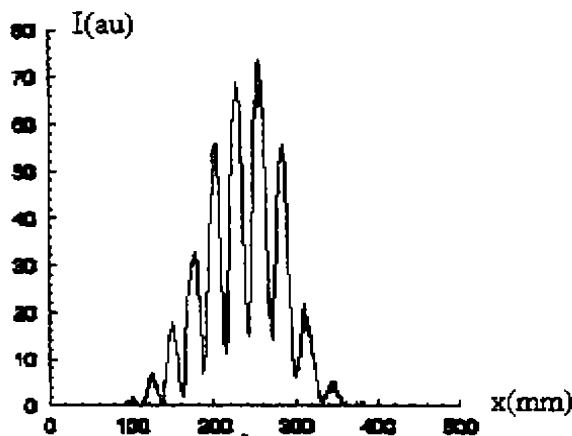


图2 锁模激光剪切干涉条纹光强分布

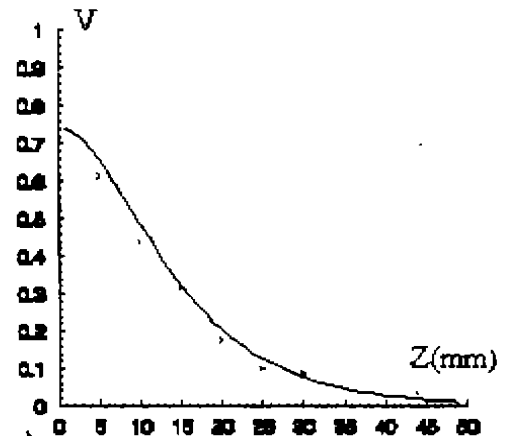


图3 锁模激光剪切条纹可见度 V 随轴向距离 Z 变化曲线

然后我们采用五点平均的方法对条纹进行平滑处理,通过寻峰求得极大值,极小值,并据此求出条纹可见度 $\bar{V} = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$ 。在不同的距离上测量剪切干涉条纹的可见度,实验结果如图3所示,其中 x 点表示实验数据点,实线代表理论曲线,可以看出两者符合得较好。

4 结束语

激光光场相干性的测量对于近代光学的研究和激光的应用有重要的意义。这里给出了CCD摄像机的图像处理系统在双频光栅剪切干涉光路中实时测量激光光场相干性的原理。对激光的空间相干性和时间相干性的测量进行了讨论,并将这套系统应用到飞秒锁模激光脉冲相干性的测量,得到了较好的结果。引入CCD摄像机和图像处理系统来判读条纹解决了传统方法中因乳胶感光性能和冲洗过程带来的非线性因素的影响以及黑度计判读条纹时带来的误差问题。

参考文献

- [1] 明海, 李明, 陈农, 谢建平, 中国激光. 1989, 16 (9): 571—573
- [2] 谢建平, 姚琨, 明海, 光学学报. 1985, 5 (2): 103—106
- [3] Andrew M. Weiner, Daniel E. Leaird, David H. Reitze and Eung Gi Paek IEEE J. of Quantum Electronics. 1992, 28 (10): 2251—2261

**Application of Double Frequency Grating Shearing
Interferometry in Measurement of Coherence of Laser Light**

Qian Jiangyuan, Ming Hai, Xie Jianping

(Physics Department of Univ. of Sci. & Tech. of China, Hefei 230026)

Abstract

In this paper, CCD cameras and image processing system are used in double-frequency grating shearing interferometry to measure the coherence of laser light field. The principle is described, and experimental results are provided. The application of this system in measurement of coherence of femtosecond laser pulse is discussed.

Key words: Double-Frequency grating shearing interferometry, Laser light field, CCD camera

钱江源 男, 生于1973年10月。获学士学位, 现攻读硕士学位。从事光学和光电子学的学习和研究。

更正

《光学 精密工程》1996年4卷3期100页, “GW-Ⅱ型光纤测微仪的研制”一文第三作者王延安应为王正安, 特此更正。