

文章编号: 100123806(2003)0320226203

三平板剪切干涉仪自动测试系统

何 勇 王 青 陈进榜 吴 桢
(南京理工大学电光学院, 南京, 210094)

摘要: 三平板剪切干涉仪是环路剪切干涉仪中最简单的一种, 它具有基本等光程、剪切量连续可调、两出射光束恒相互平行等特点。利用三平板剪切干涉仪对激光器出射波面质量进行检测, 探讨了由剪切干涉图复原原始波面的 1 阶微分法, 编制了专家辅助软件系统, 为光机型的三平板剪切干涉仪配置了实时图像采集、处理系统, 实现了光、机、电、算相结合, 融硬、软件于一体的数字波面剪切干涉仪, 并通过实验验证了方法的重复性精度。

关键词: 剪切干涉仪; 波面复原; 波面拟合

中图分类号: O4351.2; TH7441.3 **文献标识码:** A

Triangular shearing interferometer automatic test system

He Yong, Wang Qing, Chen Jinbang, Wu Zhen

(Institute of Electronic Engineering & Optoelectric Technology, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing, 210094)

Abstract: The triangular shearing interferometer, one of the most simple shearing interferometer, which has almost equal light distance, continuously adjustable shearing quality and two everlastingly parallel launching light beams, is described in the paper. Based on the interferometer, the quality of the laser wave front was detected. Then on-step differential method to recover the original wave front from the shearing interference pattern was discussed. Professional auxiliary system was applied to image processing, so the interferometer was combined with optics, mechanics and electronics. Finally the repetitive precision was experimentally checked up.

Key words: shearing interferometer; wave front recovering; wave front fitting

引 言

横向剪切干涉原理在光学测试领域占有很重要的地位, 其主要优点在于它是待测波面与其自身产生一横向剪切后的波面相干涉, 不需另外引入参考波, 因而不需配备高精度参考镜。同时剪切干涉解决了其它干涉测量中, 待测波面与参考波面之间偏离大时, 干涉条纹过密而使测量分辨率低的问题。近年来, 科技工作者在剪切发生器, 干涉条纹的复原技术上做了很多研究: 在原有 Fresnel lens, Double gratings lateral shearing generator, Birefringent lens 和平行平板等的基础上, 最近出现了一种用各向异性晶体的双折射晶体, 来实现完全共光路、分步相移和剪切量可调的剪切发生器^[1]; 并采用了相移技术、2 维剪切技术和载波技术^[2]; 在复原技术方面, 有一些有益的探索, 如采用光子计数方式进行波前探测, 并重构波面^[3], 使用离散傅里叶变换来精确恢复波

面等方法^[4,5]。这些研究使得剪切技术在光学传递函数测量、激光波面诊断以及激光核聚变的靶球评价等技术中^[6], 获得了重要应用。

下面将介绍三平板剪切干涉仪, 为光机型的三平板剪切干涉仪配置了实时图像采集、处理系统, 实现了光、机、电、算相结合, 融硬、软件于一体的数字波面剪切干涉仪, 并利用此对染料激光器发出的激光进行了实际测量。

1 三平板剪切干涉仪及软件系统

1.1 仪器光路系统

三平板剪切干涉仪是用于准直光束测量的一类独特的双光束干涉仪, 其光学系统均为平面元件, 基本光路如图 1 所示。入射光束被分光镜 S 分成透射光束和反射光束, 经全反射镜 A、B 反射后, 彼此以相反方向沿环路行进, 当它们再次到达 S 镜时叠加, 两光路出射光束恒相互平行, 说明两光束波面将产生横向平行剪切干涉。

作者简介: 何 勇, 男, 1966 年 1 月出生。博士, 副教授。主要从事光干涉计量、图像处理等方面的研究。

收稿日期: 20020623; 收到修改稿日期: 20020923

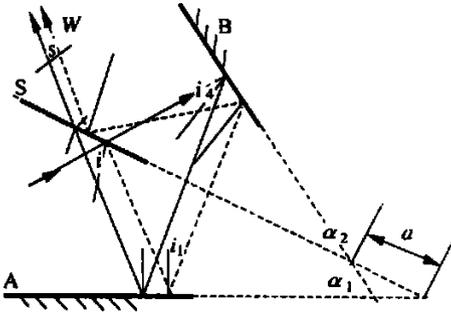


Fig. 1 The schematic diagram of the triangle shearing interferometer

当 S, A, B 3 镜的法线在同一平面内, 光线 (SABS) 和 (SBAS) 的光程差和横向剪切量可以方便地求得两条光线横向剪切量为:

$$s = a[\cos(i - 2i_1) + \cos(i - 2i_4) - \cos i - \cos i_1] \quad (1)$$

1.2 由剪切干涉波面复原实际波面^[6]

波面一般可表示为:

$$W(x, y) = \sum_{k=0}^n A_k Z_k(x, y) \quad (2)$$

式中, A_k 为 Zernike 多项式系数, Z_k 为 Zernike 多项式, (x, y) 是波面上任意点 P 的坐标。当此波面在 x, y 方向上错位 s, t 时, 同一点 P 处的错位波面的波差为 $W(x - s, y)$ 、 $W(x, y - t)$ 原始波面和错位波面在 P 点叠加后的程差为 W_x, W_y 波面拟合时, 先将剪切波面当作非剪切波面进行拟合, B_k 和 C_k 分别为对两个垂直方向的剪切干涉图直接拟合得到的剪切波面的 Zernike 多项式系数。通过比较得出 A_k 和 B_k, C_k 以及 s, t 之间的对应关系。从而求出 A_k 。

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= \frac{B_1}{s} - A_6 - A_{13} - A_{23} - A_{33} \\ A_2 &= \frac{C_1}{t} - A_7 - A_{14} - A_{23} - A_{34} \\ A_3 &= \left[\frac{B_2}{s} + \frac{C_3}{t} \right] \setminus 8 - A_8 - A_{15} - A_{24} - A_{35} \\ &\dots \\ A_{33} &= \left[\frac{B_{32}}{s} + \frac{B_{25}}{s} + \frac{C_{33}}{t} \right] \setminus 27 \\ A_{34} &= \left[\frac{B_{33}}{s} - \frac{C_{32}}{t} + \frac{C_{25}}{t} \right] \setminus 27 \\ A_{35} &= \left[\frac{B_{34}}{s} + \frac{C_{35}}{t} \right] \setminus 40 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

相应的原始波面 $W(x, y)$ 就复原出来了。这种方法直接对干涉图上的暗条纹 (或亮条纹) 进行离散、采样, 记下每一采样点的相对干涉级次及坐标, 直接

对这些采样点进行拟合, 于是, 在所采样点上, 表示原始波前的多项式就被确定了。采用此方法, 采样数据不需要经过预处理。

1.3 软件系统

程序采用集成菜单界面、模块化结构, 建立在 Windows 平台上, 操作简单方便, 数据准确可靠。剪切干涉图用条纹法处理, 条纹法是由光电探测器直接从干涉场采样, 将干涉图上的光强分布数值化为灰度值分布, 经过二值化、细化等处理工作, 提取干涉条纹光强峰谷值点的级次和空间坐标, 得到被测波面离散值。再通过对这些离散点的拟合, 复原原始波面。

条纹法主要工作是提取干涉图上的条纹信息, 即确定干涉条纹中心的位置坐标和干涉级次, 主要经过下述步骤 (如图 2 所示): 按照拟合出的、由 Zernike 多项式表示的原始波面函数, 对波面进行 31×31 点阵的离散采样, 计算波面的 PV 值及 RMS 及值, 进行 2 维或 3 维绘图数据的列表输出。

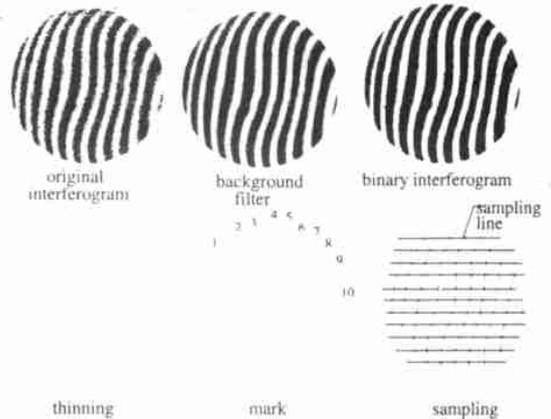


Fig. 2 Fringe processing using one interferogram

对于剪切干涉图处理的条纹法, 其图像处理过程通常需要相当多的人工干预。针对激光波前检测的需求和三平板剪切干涉仪本身的特性, 在软件编制过程中引入了智能化判断技术, 使人工干预的需求减到最小。该专家系统综合了课题组多年的干涉图像处理经验, 主要有以下几个方面。

(1) 图像阴影自动校正: 由于入射波前的亮度不均匀, 造成整幅干涉图背景灰度分布不均匀, 干涉条纹粗细不一, 妨碍图像二值化的进行。因此, 在软件中对图像的均匀度进行自动判断、修正。

(2) 直方图分析辅助二值化阈值的选取: 二值化是干涉图像处理的关键一步, 原来需要由人工判断来选取阈值, 常因各人判断不同而产生不同的处理结果。软件中设计了图像灰度值的直方图自动分析

功能(见图3),以此提供一个缺省阈值供参考。

(3)自动修像与断点连接: 二值化后的干涉图像,条纹总会有一些干扰(断点和多余杂条纹)。软件中提供了自动处理功能,主要是根据激光波前剪切干涉条纹的特点,对条纹进行追踪,去除由滤波遗留斑点造成的短条纹、连接在同一区域、同一方向上的断头条纹。

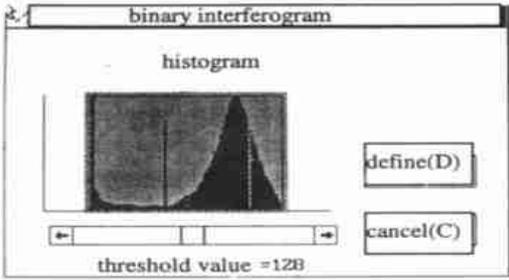


Fig. 3 Histogram assist threshold value select

2 实验及误差分析

2.1 实验

应用上述的原理方法、实验仪器对染料激光器出射波面进行测试。图4为测试装置示意图。整个实验系统共3部分:染料激光器光源部分、三平板干涉仪、图像采集及计算机处理部分。

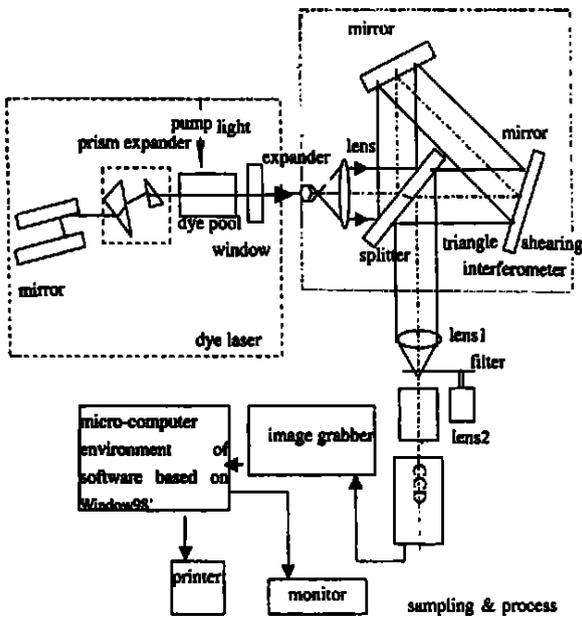


Fig. 4 Schematic diagram of the dye laser wavefront test

由染料激光器发出的激光经扩束镜和准直镜,将光斑扩束为^a20mm的近似准直光,经三平板干涉仪将光束横向错位后形成剪切干涉条纹。干涉仪的口径为^a30mm,图5给出剪切量 $s = 0.1343$, $t = 0.1216$ 时两个方向的剪切干涉图。

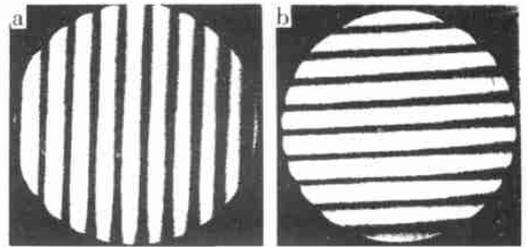


Fig. 5 a) x view shearing interferogram
b) y view shearing interferogram

采样及计算机处理部分采集剪切干涉图,并复原波面。干涉图经成像透镜组1,2和干涉图像空间滤波器成像在CCD靶面上,CCD视频信号采样、量化编码后,再采集到计算机。由于计算机处理的是干涉条纹的灰度图像,所以,要用到图像捕获器,实际的图像采集系统采用的分辨率为512@512,采集的灰度等级为8bit(256)。其参数与所用CCD匹配(制式、灰度等级、分辨率等)。图像处理运算均在计算机主机内存中执行,有利于提高处理速度,充分发挥计算机CPU的运算性能,也方便了编程与开发。

计算机软件在实现波面复原时,还要考虑以下几个方面:(1)用户界面丰富友好,采用Windows平台,基于菜单和对话框的交互式界面;(2)方便而迅速的波面计算及其它分析功能;(3)全中文的用户界面,便于用户理解、操作;(4)较高的图像分辨率,使图像清晰美观;(5)完善的干涉图及测试数据库管理系统便于用户进行查询。

计算染料激光出射波面未消除离焦时波峰波谷值 $PV = 7.536K$,消除离焦后 $PV = 1.546K$ 。图6是所复原波面的2维及3维波面图。

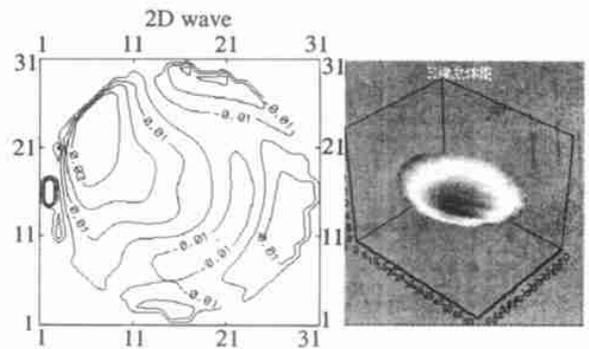


Fig 6 2D topographical map & 3D wavefront

2.2 误差分析

通过计算机模拟,得出用1阶微分的近似误差。由于三平板剪切干涉仪适用与测量具有大像差的波面,故文中模拟了 $PV > 10K$ 的波面。计算结果表明,方法原理精度高,相对误差小于1%。

(下转第232页)

FRSLs 的阈值电流随分光比、耦合系数的变化规律。相比之下,耦合效率对阈值的影响更为明显,亦即增加分光比和提高耦合系数,减少分布损耗(包括环形谐振腔中各器件的插入损耗、连接损耗等)有利于降低激射阈值,而提高耦合效率对降低激射阈值更为重要。同样,输出功率随耦合效率的变化规律如图 8 所示,不难发现,除了提高耦合效率可增加输

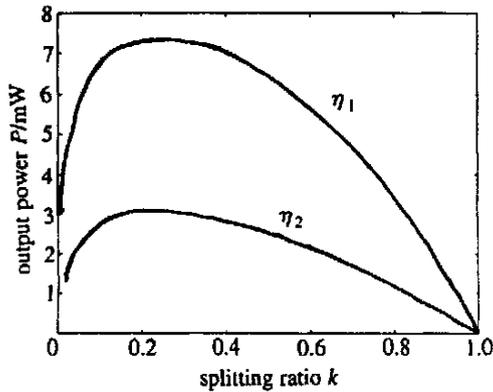


Fig. 8 Output power vs. splitting ratio for different coupling coefficient $G = 0.5, 0.25 (i = 1, 2)$

输出功率外,曲线的峰值右移,两翼得到拓宽,展宽了分光比的有效控制区域。

3 结论

综上所述,针对一定的注入电流,过大或过小的分光比,都无法满足低阈值电流和高输出功率要求。尤其是在低分光比值区域,耦合系数对阈值的影响更为明显,提高耦合效率,更有利于分光比的控制。同样,SOA 芯片端面剩余反射率越低,腔增益波动量越小,满足行波条件的单程增益越大。与此相关的是,耦合效率也受端面剩余反射率的制约,这些都直接影响 FRSLs 的线宽压缩和波长连续调谐特性。上述结果对于其它类型的环形腔、波分复用器件的参数设计也有一定的借鉴作用。

参 考 文 献

- [1] Xu C Q, Shinozaki K, Okayama H et al. A P L, 1996, 69(15): 2154.
- [2] Zhou D, Prucnal P R, Glesk I. IEEE Photon Technol Lett, 1998, 10(6): 781.
- [3] Papakyriakopoulos T, Vlachos K, Hatziefremidis A et al. Opt Lett, 1999, 24(17): 1209.
- [4] 潘 炜, 张晓霞, 罗 斌 et al. 光学学报, 2001, 21(8): 975.
- [5] 潘 炜, 张晓霞, 罗 斌 et al. 激光技术, 2001, 25(6): 445.
- [6] L H Ch, Luo B, Pan W et al. Appl Opt, 1999, 38(9): 1764.
- [7] 潘 炜, 张晓霞, 罗 斌 et al. 光电子#激光, 2001, 12(5): 446.

(上接第 228 页)

表 1 列出了不同剪切量下的染料激光波面的计算

Table 1 Wavefront of dye laser in different shearing quantity

x view shearing quantity	y view shearing quantity	power	defocus			in focus	
			P V	RMS	curve	P V	RMS
0.1343	0.1216	3.458	7.543	1.745	12.008	1.682	0.306
0.1567	0.1388	3.443	7.408	1.728	12.061	1.366	0.243
0.1865	0.1569	3.475	7.522	1.748	11.949	1.510	0.274
0.2071	0.1778	3.484	7.604	1.759	11.919	1.715	0.317
0.2258	0.1978	3.465	7.535	1.748	11.984	1.652	0.304
	average	3.476	7.536	1.750	11.946	1.546	0.281
	dispersion	0.024	0.062	0.013	0.081	0.098	0.021

3 结论

利用三平板剪切干涉仪对激光器出射波面质量进行检测。通过编制的专家辅助软件系统,将光机型的三平板剪切干涉仪配置了实时图像采集、处理系统,由计算机计算波面的 P V 值及 RMS 值,给出了所测波面的 2 维和 3 维波面图。对染料激光器激光波面进行测试,并对重复性进行了考核,实验证明

结果,从表中可以看出,复原的原始波面相同。由以上计算结果表明,波面重复性精度为 0.021K(RMS)。

该方法操作方便,计算的精度高、重复性好。

参 考 文 献

- [1] 刘晓军. 光学精密工程, 1999, 7(3): 103~ 1081
- [2] 史红民. 激光杂志, 1999, 20(4): 6~ 81
- [3] 赵长明. 激光技术, 2000, 24(6): 341~ 3441
- [4] 徐文东. 中国激光, 1999, 26(11): 982~ 9861
- [5] 许晓军, 陆启生. 强激光与粒子束, 2000, 12(3): 269~ 2721
- [6] Brug H V Nl Appl Opt, 1997, 36(13): 623~ 6291