

使用相位共轭光精密测量粗糙面 物体的振动振幅*

王向朝¹⁾ 佐々木修己²⁾ 菊地崇朗²⁾ 铃木孝昌²⁾ 于丹阳³⁾ 王学锋¹⁾ 方祖捷¹⁾

1), 中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800
2), 新泻大学, 日本新泻 950-2181
3), 上海大学材料科学与工程学院, 上海 201800

摘 要 提出了一个用于测量粗糙面物体振动振幅的自抽运相位共轭干涉仪。粗糙面反射光的波前失真由相位共轭修复。用这个干涉仪测量了一个有粗糙表面的不锈钢片的振动振幅分布。

关键词 光折变晶体, 干涉仪, 光学检测。

1 引 言

近年来, 包含一个光折变晶体的干涉仪一直被广泛研究。光折变晶体作为干涉仪的一个元件, 具有许多优点, 如能自准直、灵敏度高、具有波前失真补偿和结构简单等等^[1-6]。1983年, Feinberg^[7]提出含有一个光折变晶体的自抽运相位共轭干涉仪, 当入射光有一个空间均匀的相位变化时这个光折变晶体产生的自抽运相位共轭光的相位变化与入射光相同。之后, Tomita^[8]等实验证明了自抽运相位共轭光能以任意速度响应入射光相位的空间均匀变化, 而相位共轭反射率不变。在此基础上, 我们研究了入射光的相位空间非均匀变化时相位共轭光的相位与振幅响应特性, 并应用这些特性构成正弦相位调制菲佐(Fizeau)干涉仪, 对物体表面形状的测量具有纳米量级的精度, 消除了被测物体振动对测量的影响^[9, 10]。本文用这些特性提出一个测量对象为粗糙面物体的自抽运相位共轭干涉仪, 利用相位共轭光的相位补偿特性消除粗糙面物体测量中的斑纹噪音。

使用传统的零差或高精度的外差干涉测量法进行测量时, 为了得到高信噪比的干涉信号, 需要被测物体的表面为接近镜面的光滑面。然而多数被测物体的表面是粗糙的, 从这样的表面反射的光呈斑纹图样, 这给高精度测量造成困难。为了消除斑纹噪音对测量的影响, 本研究中, 我们将粗糙面物体的反射光入射到光折变晶体产生自抽运相位共轭光。此相位共轭光经粗糙面再次反射后, 畸变了波前按原样修复, 斑纹图样被去掉。利用去掉了斑纹噪音的相位共轭光作物体光, 实现了粗糙面物体的振动振幅分布测量。

* 本工作得到中国科学院“百人计划”的支持。

收稿日期: 1999-06-21; 收到修改稿日期: 1999-10-08

2 原 理

图 1 为本研究使用的加入了一个光折变晶体的自抽运相位共轭干涉仪。分束器 BS 将高

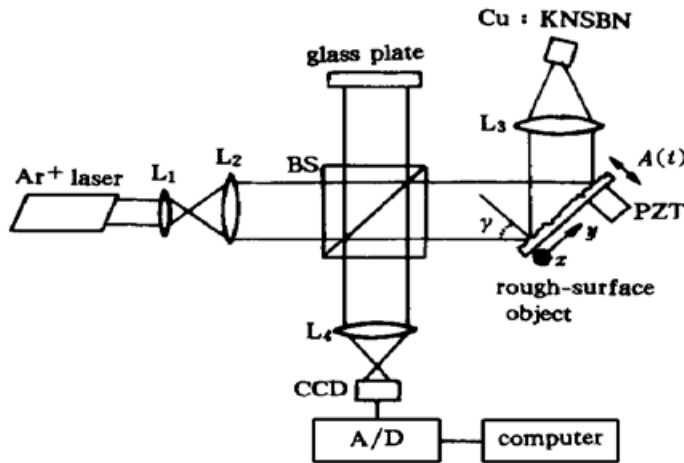


Fig. 1 A self-pumped phase-conjugate interferometer for measurements of vibration-amplitude distributions of a rough-surface object 到粗糙面物体的振动振幅分布。

如果粗糙面物体在坐标为 (x, y) 点处的振动为

$$A(x, y, t) = a(x, y) \cos(\omega t + \theta). \quad (1)$$

粗糙面物体振动时产生的光折变晶体入射光的相位变化为

$$\Delta\alpha(x, y, t) = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{a}{\cos \gamma} \cos(\omega t + \theta). \quad (2)$$

式中, λ 为波长, γ 为物体的振动方向与入射光传播方向的夹角。相位共轭光的相位变化与入射光的相位变化相同^[9, 10], 因此 CCD 检测的干涉信号为

$$I(x, y, t) = I_0(x, y) + S_0(x, y) \cos[Z(x, y) \cos(\omega t + \theta) + \alpha]. \quad (3)$$

式中

$$Z(x, y) = \frac{4\pi a(x, y)}{\lambda \cos \gamma}, \quad (4)$$

α 为相位常数, I_0 为干涉信号的直流成分, S_0 为干涉信号交流成分的振幅。通过对干涉信号进行傅里叶变换得到 $Z(x, y)$ 分布^[11], 粗糙面物体振动振幅分布 $a(x, y)$ 可根据(4)式求出。

3 实 验

实验装置如图 1 所示。光源为波长 514.5 nm 的氩离子激光器。透镜 L_1 与 L_2 将光源扩束成直径为 35 mm 的平行光。粗糙面物体选用了一片 60 mm × 50 mm 的不锈钢片, 如图 2 所示。不锈钢片的一侧沿 x 轴固定, 另一侧粘结一个压电陶瓷。向压电陶瓷输入正弦波电压 $V(t) = V_0 \cos \omega t$, 使不锈钢片振动。调整不锈钢片使其振动方向与入射光夹角 $\gamma = 45^\circ$ 。照射不锈钢表面的光束具有图 3(a) 所示的高斯状强度分布。不锈钢片的反射光呈图 3(b) 所示的斑纹图样。焦距 100 mm、直径 45 mm 的透镜 L_3 将此光束会聚到光折变晶体 Cu:KNSBN 上。晶体的大小为 5.5 mm × 5.7 mm × 7.0 mm。晶体的 c 轴与入射光成 60° 角。入射到晶体上的光束直径为 2 mm。晶体产生的自抽运相位共轭光经不锈钢表面再次反射后, 斑纹噪音被除掉。从图 3(c) 可看出, 它已被修复为具有高斯状强度分布的平行光。干涉信号由一个 20 × 20

像素的 CCD 检测。粗糙面物体的测量范围为 $15\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ 。CCD 的输出经 A/D 转换后送入计算机。

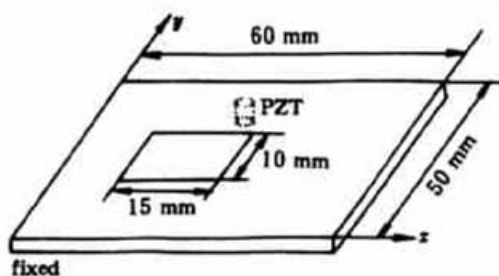


Fig. 2 Sheet stainless steel piece used as the rough-surface object

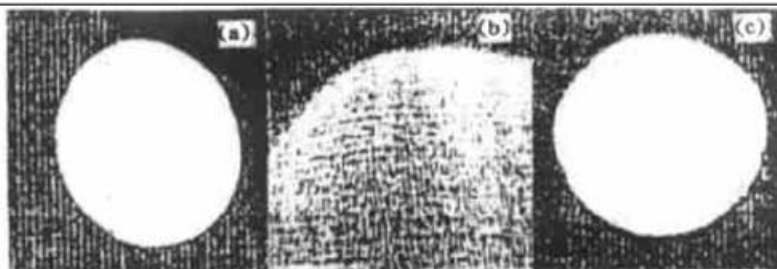


Fig. 3 (a) Light of Gaussian beam, (b) Light reflected by the stainless steel piece, (c) Phase-compensated phase-conjugate light

向压电陶瓷加入正弦波电压信号算出粗糙面物体的振动振幅分布。当 $\omega/2\pi = 80\text{ Hz}$, $V_0 = 3\text{ V}$ 时测得的 Z 分布如图 4 所示。 x 、 y 方向的坐标为像素数。对应于粗糙面物体上每个像素的大小为: x 方向为 0.75 mm , y 方向为 0.5 mm 。图中, Z 分布的左侧因靠近不锈钢片固定的一侧, 数值相对较小。随着 y 值增加 Z 的数值增大。振动振幅 a 同 Z 的关系由(4) 式可知 $a(\text{nm}) = 29 \times Z(\text{rad})$ 。离驱动点最近处的 a 值为 130 nm 。

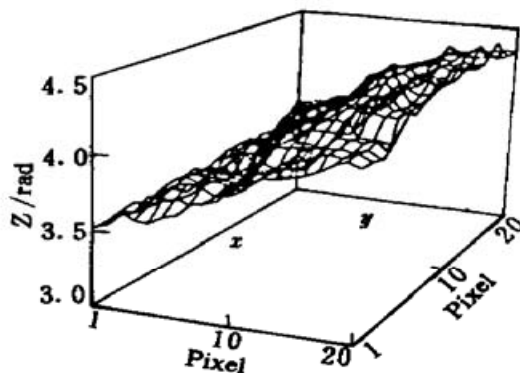


Fig. 4 Vibration-amplitude distribution of the sheet stainless steel piece measured when $\omega/2\pi = 80\text{ Hz}$ and $V_0 = 3\text{ V}$

结 论 在迈克耳孙干涉仪中引入光折变晶体, 构成了一个用于测量粗糙面物体振动振幅的自抽运相位共轭干涉仪。利用相位共轭光的相位补偿特性, 此干涉仪消除了粗糙面物体干涉测量中的斑纹噪音, 降低了测量误差。

参 考 文 献

- [1] Ikeda O, Suzuki T, Sato T. High-accuracy surface profile measuring system using a BSO phase conjugating mirror. *Appl. Opt.*, 1982, **21**(24) ·4468~ 4472
- [2] Howes W L. Large aperture interferometer with phase-conjugate self-reference beam. *Appl. Opt.*, 1986, **25**(18) ·3167~ 3170
- [3] Gauthier D J, Boyd R W, Jungquist R K *et al.*. Phase-conjugate Fizeau interferometer. *Opt. Lett.*, 1989, **14**(6) ·323~ 325
- [4] Shukla R P, Dokhanian M, Venkateswarlu P *et al.*. Phase conjugate Twyman-Green interferometer for testing spherical surfaces and lenses and for measuring refractive indices of liquids or solid transparent materials. *Opt. Commun.*, 1990, **78**(5) ·407~ 415
- [5] Yang G, Siahmakoun A, Khorana B M. Tunable self-reference phase conjugate interferometer. *Appl. Opt.*, 1991, **30**(19) ·2714~ 2717
- [6] Yang G, Siahmakoun A. Time-delay Fizeau phase-conjugate interferometer. *Appl. Opt.*, 1993, **32**(9) ·1578~ 1582
- [7] Feinberg J. Interferometer with a self-pumped phase-conjugating mirror. *Opt. Lett.*, 1983, **8**(11) ·569~

571

- [8] Tomita Y, Yahalom R, Yariv A. Phase shift and cross talk of a self-pumped phase-conjugate mirror. *Opt. Commun.*, 1989, **73**(5) ·413~ 418
- [9] Wang X Z, Sasaki O, Takebayashi Y *et al.*. Sinusoidal phase-modulating Fizeau interferometer using a self-pumped phase conjugator for surface profile measurements. *Opt. Engng.*, 1994, **33**(8) ·2670~ 2674
- [10] Wang X Z, Sasaki O, Suzuki T *et al.*. Response characteristics of a self-pumped phase-conjugate mirror to spatially nonuniform phase changes of an incident wave and their applications. *Opt. Engng.*, 1995, **34**(4) ·1184~ 1190
- [11] Sasaki O, Okazaki H. Sinusoidal phase modulating interferometry for surface profile measurement. *Appl. Opt.*, 1986, **25**(18) ·3137~ 3140

Measurement of Vibration Amplitudes of a Rough Surface Using a Phase-Conjugate Wave

Wang Xiangzhao¹⁾ Osami Sasaki²⁾ Takaaki Kikuchi²⁾

Takamasa Suzuki²⁾ Yu Danyang³⁾ Wang Xuefeng¹⁾ Fang Zujie¹⁾

- 1), *Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800*
 2), *Niigata University, Niigata 950-2181, Japan*
 3), *School of Materials Science and Engineering, Shanghai University, Shanghai 201800*

(Received 21 June 1999; revised 8 October 1999)

Abstract A self-pumped phase-conjugate interferometer is proposed to measure vibration amplitudes of a rough surface. The distorted wave front of the light diffusely reflected from the rough surface is reconstructed by phase conjugation. Using this interferometer, the vibration-amplitude distribution of a stainless steel sample with a rough surface have been measured.

Key words photorefractive crystal, interferometer, optical testing.