

J 1 自己励起型位相共役光を用いる粗面物体の振動計測

菊地崇朗* 佐々木修己** 王向朝** 鈴木孝昌**

*新潟大学自然科学研究科 **新潟大学工学部

1. はじめに

レーザー光による干渉計測は非接触な計測方法であるため、測定物体に変形、摩擦が生じない利点があり、更にサブミクロンオーダーの高精度な計測が可能である。ただし、高 S/N な干渉信号を得るためには、測定物体の表面は鏡面に近い平らな面であることが必要である。しかし、多くの測定物体の表面は粗面であるため、表面からの反射光にはスペックルパターンが生じ、高精度な測定が困難となる。そこで、スペックルパターンを除去する方法として、位相共役光を用いた計測方法が提案されている。粗面物体からの反射光をフォトリフレクティブ(PR)結晶に入射させ、自己励起型位相共役光を発生させる。この位相共役光を再び粗面物体で反射させることにより、スペックルパターンを除去できる。本研究は上記の方法を用い、粗面物体の振動振幅分布の測定を行う。

2. 原理

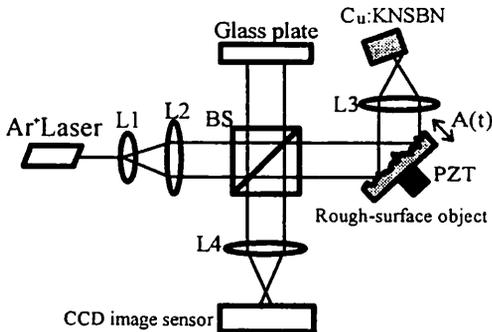


Fig. 1. Interferometer with a self-pumped phase-conjugate mirror.

図 1 に自己励起型位相共役光を用いた干渉計を示す。ガウス状の強度分布をもつ平行光はビームスプリッター (BS) で二分され、一方の光はガラス板で反射し、レンズ L4 を通り CCD イメージセンサに至る。この光を参照光と呼ぶ。もう一方の光は粗面物体で反射し、レンズ L3 で集められ PR 結晶に入射させる。PR 結晶からは、自己励起型の位相共役光が発生し、粗面物体で再び反射されると位相共役光に含まれているスペック

ルパターンは除去される。したがって、位相共役光はガウス状の強度分布の平行光に戻る。この位相共役光の中には粗面物体の表面形状による位相分布はなくなるが、光の伝搬距離の情報は存在する。この光を物体光として用い参照光と干渉させることにより干渉信号 $S(t)$ を得る。この干渉信号を二次元 CCD イメージセンサで検出し、粗面物体の振動振幅を求める。粗面物体が振動しているときの粗面物体のようすを図2に示す。

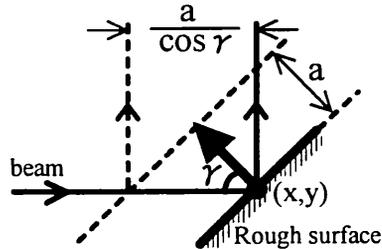


Fig. 2. Vibration of the rough-surface object.

ここで、粗面物体に入射する平行光の伝播方向と粗面物体の振動方向とのなす角を γ とする。また粗面物体の振動方向は粗面物体の表面と垂直である。粗面物体の点 (x, y) での振動を次式で表す。

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

粗面物体の振動によって生じる結晶への入射波の位相変化は次式で与えられる。

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

ここで、 λ は波長である。位相共役光の位相変化は入射波の位相変化と同じである。したがって、CCD イメージセンサで検出される干渉信号は次式で表される。

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

ここで、

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

α は一定の位相であり、 I_0 は干渉信号の直流成分であり、 S_0 は干渉信号の交流成分の振幅を表す。粗面物

体の振動振幅分布 $a(x,y)$ は干渉信号をフーリエ変換することにより得られる Z から求めることができる。

3. 実験

図1の干渉形を構成した。光源は波長が514.5nm、のアルゴンレーザを用いた。レーザ光はレンズL1とL2で拡大し、直径3.5mmの平行光を作った。粗面物体を図3に示す。

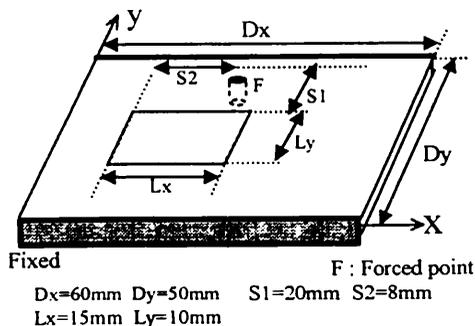


Fig.3. Sheet stainless piece used as the rough-surface object.

ステンレス鋼の端の一方はx軸に沿って固定し、他方の端に圧電素子PZTを粗面物体の裏側に取り付けた。PZTに正弦波の電圧 $V(t) = V_a \cos \omega t$ を加え、粗面物体を振動させた。 $\gamma = 45^\circ$ にした。ステンレス鋼に入射するガウスビームを図4(a)に示す。粗面物体からの反射光に、スペックルパターンが生じている様子を図4(b)に示す。ステンレス鋼からの反射光は直径45mm、焦点距離が100mmのレンズL3によって集め、結晶に入射した。結晶の大きさは $5.5 \times 5.7 \times 7.0\text{mm}$ であった。結晶に集められた光はC軸に対して 60° の角度で入射させた。結晶に入射する光の直径は2mmであった。粗面物体から反射した位相共役光は図4(c)に示すように、ガウス強度分布の平行光に戻った。干渉信号は 20×20 画素のCCDイメージセンサにより検出し、粗面物体の測定範囲は $15\text{mm} \times 10\text{mm}$ であった。CCDイメージセンサからの出力信号はA/Dコンバータを経てコンピュータに入力した。

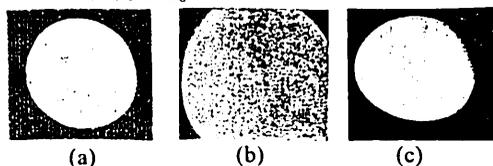
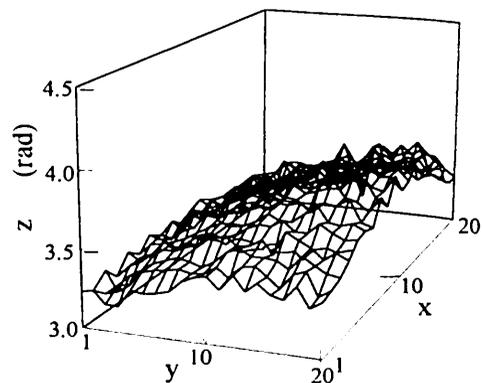
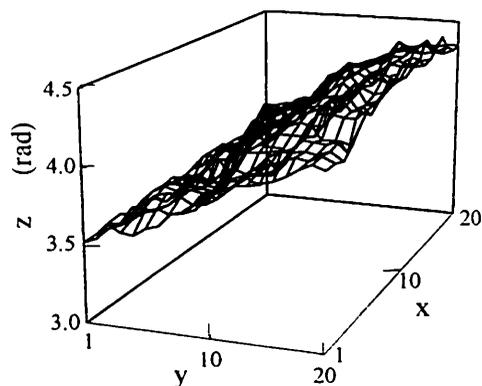


Fig.4 (a)Light of Gaussian beam, (b) light reflected by the stainless steel piece, (c) phase-compensated phase-conjugate light..

$\omega/2\pi = 80\text{Hz}$ 、印加電圧3Vの時の結果を図5(a)に示す。x、y方向の座標は画素数で示しており、一画素の大きさは粗面物体上でx方向が0.75mm、y方向が0.5mmである。Zと振動振幅aの関係は式(4)から $a(\text{nm}) = 29 \times Z(\text{rad})$ である。最も駆動点に近い点で、 $a=100\text{nm}$ の振動振幅である。同様に $V_a = 4\text{V}$ の時の振動振幅分布を図5(b)に示す。最も駆動点に近い点で、 $a=130\text{nm}$ の振動振幅である。



(a)



(b)

Fig.5. Vibration-amplitude distributions measured when (a) the amplitude of the sinusoidal voltage $V_a=2\text{V}$ and (b) $V_a=3\text{V}$.

4. 結果

粗面物体の振動振幅を測定する場合スペックルパターンが生じるが、位相共役光を用いることによりスペックルパターンを除去でき、粗面物体の振動振幅分布を測定することができた。