

K11 CCD カメラのシャッター機能を利用する高速正弦波位相変調 半導体レーザ干渉計の構成

牧敏之*

鈴木孝昌**

佐々木修己**

*新潟大学大学院自然科学研究科

**新潟大学工学部電気電子工学科

1. はじめに

半導体レーザ (LD) を光源とする干渉計を用いることで磁気円板、高精度に研磨されたディスクの微細な表面形状を測定、検査することが可能である。レーザ干渉計はLD光の波長λを基準として、干渉信号の位相から物体の微小な段差や表面形状を測定する。しかし、従来の方法では空気の擾乱や振動といった外乱の影響を受けるために、安定した計測が困難であった。

本研究ではこの問題を解決するため、CCDカメラのシャッター機能に着目したアプローチを試みる。CCDのシャッター機能を利用すると非常に短い期間で干渉信号を取り込むことができ、従来の方法に比べ高い周波数をもつ変調信号で変調をかけることが可能になる。この結果、フィードバック制御を施した際の安定度が増し、外乱を効果的に軽減する干渉計測システム¹⁾を容易に構築することが出来る。

2. 原理

図1に本干渉計の構成図、図2に変調信号生成回路のブロック図を示す。

CCDの複合映像信号からフィールド判別信号を取り出し、PLLによって式(1)に示すような変調信号を生成する。

$$I_m(t) = a \cos(\omega_c t + \theta) \quad (1)$$

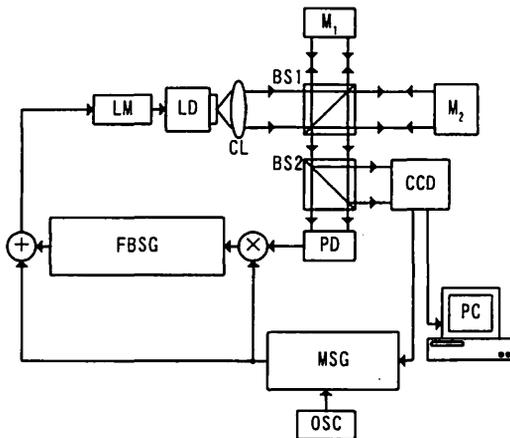


図1 本干渉計の構成図

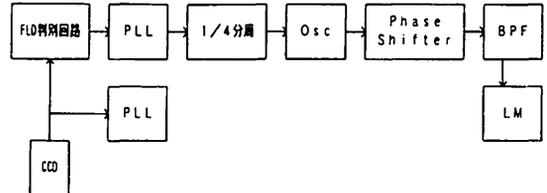


図2 変調信号生成回路のブロック図

この変調信号をLDに注入して得られる干渉信号は、

$$S(t, x, y) = S_{dc} + S_0 \cos[z \cos(\omega_c t + \theta) + \alpha(x, y)] \quad (2)$$

$$\text{但し、} \quad z = 4\pi a \beta D_0 / \lambda_0^2 \quad (3)$$

で与えられる。

シャッター時間 T_s の時間内に変調信号の1/4の時間だけ積分された干渉信号をCCDカメラを用いてコンピュータに取り込む。この信号を式(4)に示す。

$$p_i = \int_{(T_s+T_v)(i-1)}^{(T_s+T_v)i+T_s} S(t) dt \quad \text{但し、} i = 1 \sim 4 \quad (4)$$

これらを加減算処理すると、

$$p_g = p_1 - p_4 - p_2 + p_3 = A_c \cos \alpha \quad (5)$$

$$p_h = p_1 - p_4 + p_2 - p_3 = A_s \sin \alpha \quad (6)$$

が得られ²⁾、 $\theta = 56^\circ$ 、 $z = 2.45$ の条件下で $A_c = A_s$ となる。従って、物体の表面形状を表す位相分布 $\alpha(x, y)$ は

$$\alpha(x, y) = \tan^{-1} \left(\frac{p_h}{p_g} \right) \quad (7)$$

で与えられる。

上で述べた信号処理を実現するためのタイミング図を図3に示す。シャッターパルス P_s は垂直同期信号VDに時間 T_s だけ先立って出現し、積分時間を T_s に制限する。図3において最初の垂直同期信号VD₁のタイミングでは T_s の期間内に変調信号 $I_m(t)$ の1/4周期に相当する部分が含まれて

おり、式(4)で示した積分値 p_1 が得られる。次の垂直同期信号 VD_2 では、変調信号のタイミングが $\pi/2$ ずれて出現し、式(4)の積分値 p_2 が得られる。 VD_2 以降も同様に、垂直同期信号に同期して、 $\pi/2$ ずつずれた変調信号が生成され、結果的に4つの積分値 $p_1 \sim p_4$ が得られる。

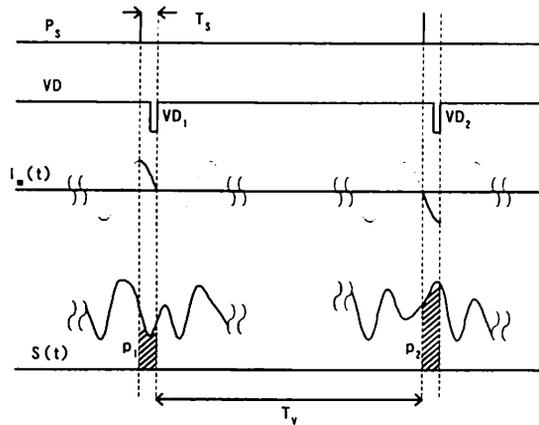


図3 信号処理のタイミング

3. 実験装置の構成

図1に干渉計の構成図を示す。定電流で駆動しているLD(波長 $\lambda = 670$ [nm])から出射されたレーザ光を、コリメータレンズ(CL)で平行光にし、ビームスプリッタ1(BS1)により参照光と、物体光に二分する。それぞれの光はミラー M_1, M_2 で垂直反射し、フォトダイオード(PD)およびCCDカメラ上で干渉する。

PDで検出された干渉信号はフィードバック信号生成回路(FBSG)に入力され、外乱除去のためのフィードバック信号が生成される。

一方、CCDカメラで観測された干渉信号はパソコンに取り込まれ、位相検出のための信号処理が施される。

また本研究で用いた変調信号の周波数は337.5 [Hz]、CCDカメラの画素サイズは6.35 [μ m] (H) \times 7.40 [μ m] (V)、画素数は38万画素である。

4. 実験

図3で示した垂直同期信号(VD)と変調信号 $I_m(t)$ をA/Dコンバータで取り出した結果を図4および図5に示す。

実験の結果、VDの信号の立ち上がりから T_s (=0.74 [ms])の期間において1/4周期の変調信号が含まれていることが確認できる。

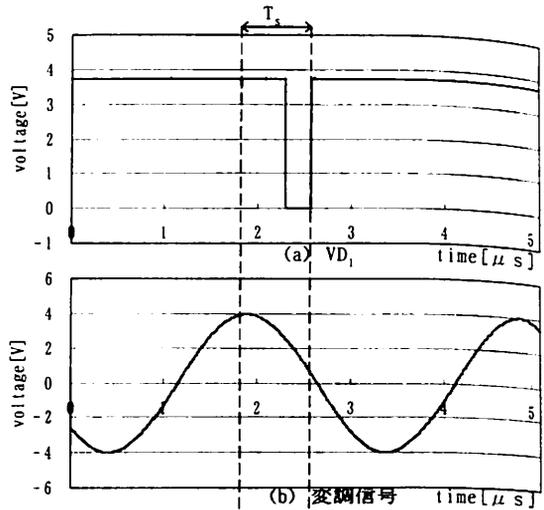


図4 VD_1 と変調信号

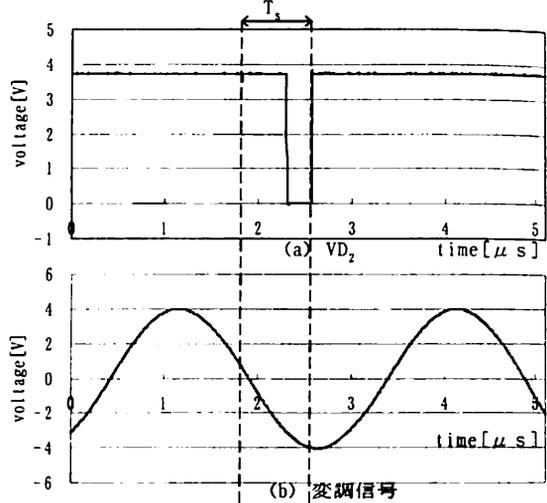


図5 VD_2 と変調信号

5. まとめ

CCDの垂直同期信号VDから変調信号を生成し、その信号がシャッター期間内に1/4周期含まれていることを確認した。

今後、CCDで干渉信号を検出し、物体の表面形状計測を行っていく予定である。

【参考文献】

- 1) O. Sasaki, K. Takahashi, and T. Suzuki, Opt. Eng, 29,1511(1990)
- 2) O. Sasaki, H. Okazaki, and M. Sakai, App. Opt, 26.1093(1987)