

## N2 汎用CCDカメラを用いるフィードバック型光熱変調半導体レーザ干渉計

趙学峰\* 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

従来の半導体レーザ干渉計では一般に電流変調が用いられている。しかし、このとき、光源の波長だけでなく、光強度も変調されるため、測定の精度が低下するという問題があった。本報告では、光源レーザに外部より光強度変調を施したレーザ光を照射する光熱変調<sup>1)</sup>を用い、フィードバックにより外乱の影響を除去できる半導体レーザ干渉計を提案する。この光熱変調を用いると、強度変調の小さい干渉信号を得ることができ、従来の電流変調に比べて、干渉計測の精度低下を軽減することができる。

一方、光検出器に汎用のCCDカメラを用いると、NTSC規格により変調周波数は1/30[sec]に制限されるという問題がある。そこでCCDカメラに一般的に付加されているシャッター機能を用い、変調周波数を飛躍的にあげる手法についても提案する<sup>2)</sup>。本報告では、これにより、フィードバック制御による良好な外乱除去特性を得ることができる。

## 2. 原理

## 2.1 電流変調と光熱変調

電流変調では半導体レーザの注入電流が増加すると、波長だけではなく、光強度も増加する。一方、熱変調では半導体レーザの活性層温度が上昇し、波長が長波長側へシフトする、この時光強度は電流変調の時とは逆に減少する。しかし、波長変化量が同じ時、熱変調によって生じる光強度変化は電流変調に比べて非常に小さい。

## 2.2 積分値解析法

測定対象の位相分布を $\alpha(x, y)$ とすると、正弦波位相変調干渉計の干渉信号は

$$S(t, x, y) = S_1 + S_0 \cos[z \cos(\omega_c t + \theta) + \alpha(x, y)] \quad (1)$$

となる。図1に示すようにCCDカメラの画像読み出し周期を変調周期  $T=2\pi/\omega_c$  の1/4周期とすると、変調電流の

1周期には、干渉信号を積分した4つの値

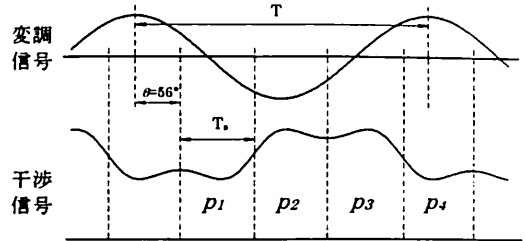


図1 積分解析法

$$P_i(x, y) = \int_{(T/4)(i-1)}^{(T/4)i} S(t, x, y) dt \quad (2)$$

が画像として得られる。これらの値から

$$P_c(x, y) = p_1 - p_2 + p_3 - p_4 = A_c \cos \alpha(x, y) \quad (3)$$

$$P_s(x, y) = p_1 + p_2 - p_3 - p_4 = A_s \sin \alpha(x, y) \quad (4)$$

が得られる。ただし、係数 $A_c$ 、 $A_s$ は $z$ および $\theta$ の関数であり、 $z=2.45$ 、 $\theta=56^\circ$ のとき $A_c=A_s$ となつて、位相 $\alpha=\tan^{-1}(P_s/P_c)$ を求めることができる。

## 2.3 積分時間の短縮化

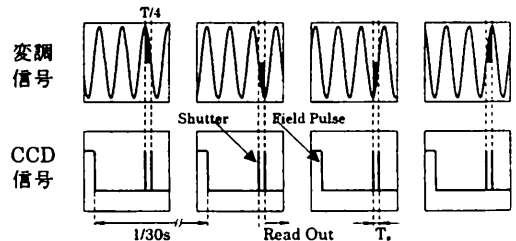


図2 積分処理のタイミングチャート

図2のように変調信号 $I_m(t)$ の1/4周期をCCDのシャッター時間 $T_s$ に一致するように調整する。1フレームごとに位相が $\pi/2$ ずつ異なる画像を4枚( $p_1-p_4$ )取り込むことで、干渉信号の積分値を取得することが出来る。

## 2.4 順番の判定

CCDカメラで取得した画像と $p_1-p_4$ の画像との対応は、ランダムであるので、式(3)と(4)を用いて $P_s$ と $P_c$ を

計算するためには、4つ画像の順番を判定しなければならない。これには、図2に示すように、一つ一つ画像に対して、変調信号の位相が異なることを利用する、図3に示すように画像を取り込むと同時に、A/Dコンバーターで変調信号もサンプルし、順番を自動的に判定することにした。

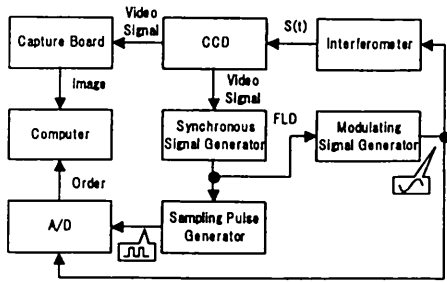


図3 順番判定回路のブロック図

### 3. 実験装置の構成

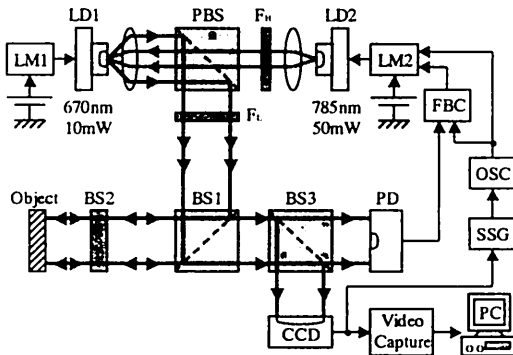


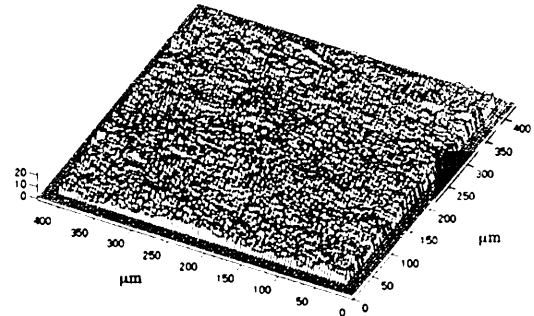
図4 実験装置の構成

図4に、実験装置の構成を示す。定電流で駆動している半導体レーザー LD1 からの出射光は、光源レーザーとして偏光ビームスプリッター PBS を通り、フィゾー型干渉計に入射する。定電流と制御電流で駆動している LD2 は LD1 の温度を変調するための加熱用 LD である。LD2 からの照射光は LD1 接合部媒質に吸収され、その温度効果によって発振波長が変化する。BS2 および物体上でそれぞれ垂直反射された光はフォトダイオード(PD)、CCDカメラ上で干渉する。PD で検出した干渉信号からはフィードバック信号を生成し、外乱除去に用いる。一方、CCDカメラで観測した干渉縞は、コンピュータに取り込み、位相検出のための信号処理を施す。また、CCDからのビデオ信号は変調信号生成用の信号としても用いられる。

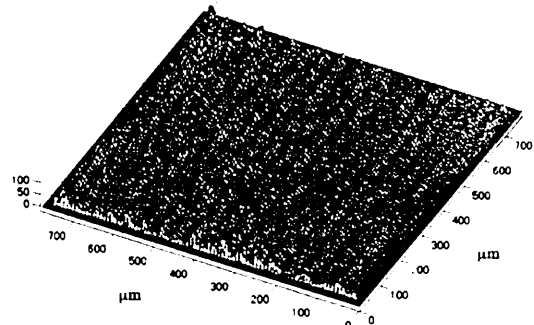
### 4. 実験結果

図5(a)に平面鏡の表面形状の測定結果を示す。表面粗さはrmsで3.5nm、繰り返し測定精度は2.7nmであった。

図5(b)にダイヤモンドバイトで切削されたアルミニウムディスクの表面形状の測定結果を示す。測定した周期と表面粗さは、それぞれ40 $\mu$ m,43nmであり、この値は、接触型の粗さ計タリステップによる測定結果と良く一致した。また繰り返し測定精度はrmsで4.16nmであった。



(a) 平面鏡



(b) ダイヤモンドバイトで切削されたアルミニウムディスク

図5 表面形状

### 5. まとめ

光熱変調を用い、強度変調の影響を受けない正弦波位相変調干渉計を構成した。本干渉計では、また、CCDカメラのシャッター機能を利用し、高速に位相変調を行うことで、良好なフィードバック制御を実現した。これにより、外乱の影響を受けない高精度な干渉計測を行える。

#### [参考文献]

- 1) T.Suzuki, M.Matsuda, O.Sasaki, and T.Maruyama, "Laserdiode interferometer with a photothermal modulation" Appl. Opt. 38, pp.7069-7075 (1999).
- 2) 牧敏之、鈴木孝昌、佐々木修己, "汎用CCDカメラを用いる高速正弦波位相変調半導体レーザー干渉計" 第48回応用物理学会予稿集, pp.1010 (2001).