

## N 4 等価2波長型正弦波位相変調半導体レーザ干渉計

### を用いた高精度距離測定

関本 辰彦\* 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

レーザ干渉計を用いた干渉計測はレーザ光のコヒーレンス(可干渉性)の良さを利用し、レーザ光の波長をものさしとする測長技術である。レーザ光を干渉させることによって得た干渉信号を解析し、その位相から物体の微小な段差や表面形状の計測を行うことができる。

しかし、単一波長を用いた干渉計測では $\lambda/2$ 以上のステップ的な変化は原理的に測定が不可能である。これは、光の情報については基本的に光強度としてしか読み取る事ができず、 $\lambda/2$ 以上のステップ的な変化においては干渉信号上に同じ光強度の点が存在し、どの光路差における光強度か判別できないためである。そして、これに対しては異なる2つの波長を用いる2波長型干渉計が提案されている。

これに対し、本研究では半導体レーザ(LD)の駆動電流に時分割的に直流分の異なる変調電流を注入することにより、等価的に2波長型の干渉計を構成し、さらに等価波長という概念を用いて $\lambda/2$ 以上の距離測定を可能にする。<sup>1)</sup> 本干渉計は従来の2波長型干渉計に比べ構成が簡単で振動に強いという利点を有している。

#### 2: 理論

従来の2波長型干渉計では Fig.1(a)に示すように波長の異なる2つのLDを用い、各LDに対して独立に位相

$$\alpha_1 = 4\pi L/\lambda_1 \quad \dots(1)$$

$$\alpha_2 = 4\pi L/\lambda_2 \quad \dots(2)$$

を得る。これに対し、本研究では Fig.1(b)に示すように1つのLDで異なる波長のレーザ光を発生させ等価的に2波長型の干渉計を構成する。本報告で提案する等価2波長型干渉計では Fig.2(a)に示すように低周波の正弦波 $I_L$ に高周波の正弦波 $I_H$ が重畳された変調信号を注入する。得られた干渉信号をソフトウェアで分離すると Fig.2(b)のような干渉信号が得られ、 $I_H$ の最大、最小の位置で干渉信号をサンプリングすることにより、等価的に直流分が異なる変調電流で変調された2つの干渉信号

$$S_i(t) = S_0 \cos[Z \cos \omega_c t + \alpha_i] \quad (i = 1, 2) \quad \dots(3)$$

を得ることができる。

ただし  $\lambda_1 = \lambda_0$ 、 $\lambda_2 = \lambda_0 + \Delta \lambda$  である。ここで $\beta$ は

電流変調効率と呼ばれ波長の変化率を示す。

$$\Delta \lambda = \beta \Delta i \quad \dots(4)$$

干渉信号  $S_1(t)$ 、 $S_2(t)$  の位相差  $\Delta \alpha$  は(1)、(2)より

$$\Delta \alpha = \alpha_2 - \alpha_1 = 4\pi L/\Lambda \quad \dots(5)$$

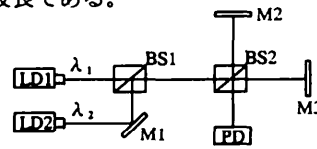
で得られる。(5)より光路差  $L$  は

$$L = \Lambda \Delta \alpha / 4\pi = \lambda_0^2 \Delta \alpha / 4\pi \beta \Delta i \quad \dots(6)$$

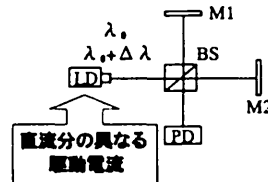
となり、等価的に2波長型干渉計の原理を用いて  $L$  を求めることができる。ただし

$$\Lambda = \lambda_0^2 / \beta \Delta i \quad \dots(7)$$

は等価波長である。

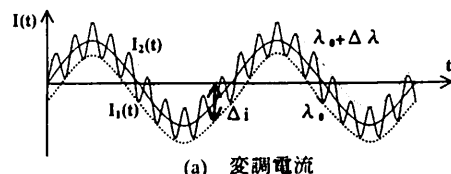


(a) 2波長型干渉計

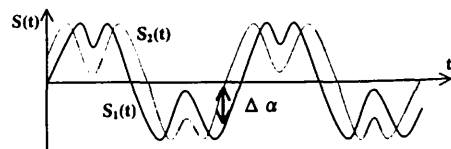


(b) 等価2波長型干渉計

Fig.1 光学系の構成



(a) 変調電流



(b) 分離した干渉信号

Fig.2 変調電流と分離した干渉信号

3: 実験装置の構成

Fig.3 に実験装置の構成を示す。

i) 光学系

半導体レーザ(LD)から発振したレーザ光は偏光ビームスプリッタ(PBS)で P 偏光と S 偏光に分割される。その後それぞれ、1/4 波長板(QWP)を通りミラー 1、2 (M1、M2) で反射したレーザ光を位相板 (WP) で同じ偏光方向のレーザ光を取り出し干渉させる。ここでは PBS と QWP を組み合わせることで光アイソレータを構成し、戻り光の低減を図っている。

ii) 信号処理系

オシレータ 1 (OSC1) から周波数 128kHz の正弦波  $I_H$  および矩形波を出力する。矩形波を分周器を通して外部同期可能なオシレータ 2 (OSC2) に入力し周波数 1kHz の正弦波  $I_L$  を生成する。 $I_H$  と  $I_L$  を加算器により加算して LD に注入し変調する。また、OSC1 から出力される矩形波をサンプリングパルス (SP) 発生回路を通して A/D コンバータに入力し  $I_H$  の最大、最小値でサンプリングを行う。

さらに、安定した干渉信号を得るためフィードバック回路を付加した。<sup>2)</sup>

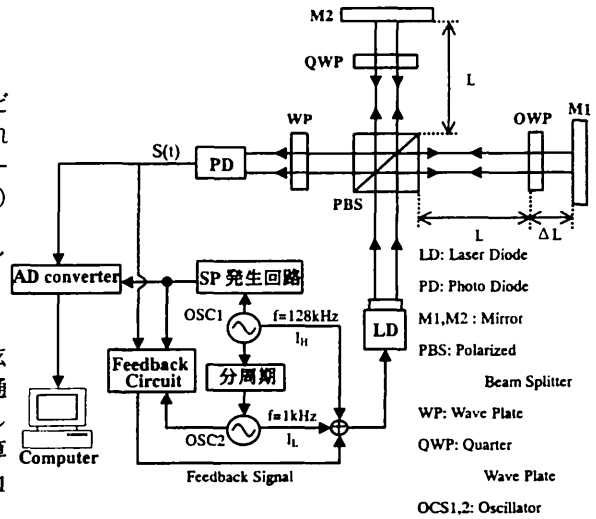


Fig.3 高速時分割変調型干渉計

4: 実験結果

Fig.4 に光路差  $\Delta L$  を 2.5[mm]ずつ変化させて測定した結果を示す。同じ距離において 4 回ずつ測定を行った。

この時レーザの駆動電流 80.5[mA]、中心発振波長  $\lambda_0 = 685[\text{nm}]$ 、電流変調効率  $\beta = 2.33 \times 10^{-9} [\text{m/A}]$ 、 $\Delta i = 1.2[\text{mA}]$ である。また、測定精度を評価するため、各光路差における標準偏差を求めた結果を Table.1 に示す。fc はフィードバック回路のカットオフ周波数である。フィードバック回路の周波数応答を下げることで測定精度が向上することがわかる。

これより距離測定のばらつきを数十マイクロン程度の範囲内に抑えることができた。また、その再現性も確認した。

5: まとめ

半導体レーザの駆動電流に時分割的に直流分の異なる変調電流を注入することにより、等価的に 2 波長型の干渉計を構成し距離測定を行った。これにより、従来の 2 波長型干渉計の欠点を改善することができた。しかし、測定精度をこれ以上向上しようとするより高精度に位相差を求める必要がある。現在のシステム構成における距離測定の分解能は数十マイクロン程度である。今後は  $\mu\text{m}$  オーダーの変化を nm の精度で測定できるシステムの構築を目指して研究を進めていく予定である。

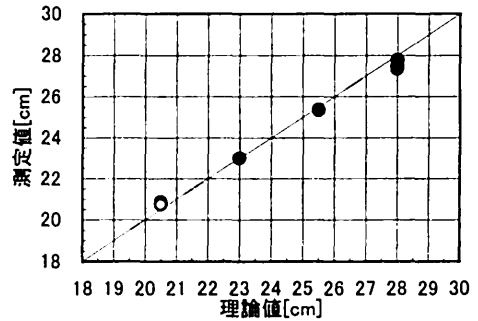


Fig.4 理論値と測定値の比較

Table.1 測定精度の比較 (左: fc=200Hz 右: fc=100Hz)

$\Delta L[\text{mm}]$	標準偏差	$\Delta L[\text{mm}]$	標準偏差
28.0	0.21577	28.0	0.02755
25.5	0.02485	25.5	0.09732
23.0	0.00444	22.5	0.05295
20.5	0.06836	20.0	0.04412
平均	0.07835	平均	0.05549

【参考文献】

1) 稲垣慎一郎、鈴木孝昌、佐々木修己、丸山武男:「高速時分割変調型半導体レーザ干渉計に関する研究」、電子情報通信学会信越支部大会講演論文集、pp.127-128(1999)  
 2) T.Suzuki, T.Okada, O.Sasaki, T.Maruyama, "Real-time vibration measurement using a feedback type of laser diode interferometer with an optical fiber," Opt.Eng, 36(9) pp.2496-2502(September 1997)