

距離・速度・3次元形状の遠隔測定のための半導体レーザ・センサ  
Semiconductor Laser Sensors for the Remote Measurement of Distance,  
Velocity and Three Dimensional Profile

前田博之, 大高真人, 小林香郎

Hiroyuki Maeda, Masato Ohtaka and Takao Kobayashi

福井大学工学部電気工学科

Department of Electrical Engineering, Fukui University

1. はじめに 最近、半導体レーザの種々の優れた特徴を生かした光計測や光情報処理分野などへの応用が進展している。基本的な光計測技術としての物体の距離測定法として、従来よりパルス時間差法(レーダ法)、IM(強度変調)位相差法、干渉計法、ホログラフィ法、幾何光学的方法などが開発されている。しかし、近距離での測定には、これらの方法はいずれも一長一短がある。

そこで、本報告では半導体レーザを用いて近距離における一般的な粗面散乱体に対する距離の絶対値の計測法として、IM位相差法及びFMヘテロダイン計測法の2つの方式に関して、新たに開発研究を行ったのでその結果を示し、さらに、物体の速度と3次元形状の計測への拡張についても触れたい。

## 2. IM位相差法による距離・速度の計測

従来、ジオジメータ等の精密測距儀にはIM位相差法が利用されてきた。そこで、まずこの方式を一般的な粗面散乱体の測距も可能なように高感度化を行うことを試みた。Fig. 1に試作したIM位相差法による距離・速度センサの基本構成図を示す。周波数 $f_m$ で強度変調を加えた半導体レーザ光は、送信レンズ(直径 $d = 10\text{mm}$ , 焦点距離 $f = 9\text{mm}$ )により平行光にしてターゲットに照射され、その後方散乱光は受信レンズ( $d = 42\text{mm}$ ,  $f = 105\text{mm}$ )により集光され、光ファイバ(コア径 $1\text{mm}$ )を通過して光電子増倍管で光電変換され電気信号となる。このとき、散乱体までの光路長によりレーザ出力光(参照信号)と散乱信号光(測定信号)との間に位相差 $\Phi$ が生じ、測定距離 $R$ は次式で与えられる。

$$R = (c / 2 n f_m) \cdot (\Phi / 2 \pi) \\ = (\lambda_m / 2) \cdot (\Phi / 2 \pi) \quad (1)$$

ここで、 $R$ は散乱体距離、 $c$ は光速、 $n$ は大気屈折率、 $\lambda_m$ は変調波の波長である。

位相差は、PLLを用いた位相検波器で測定することによりアナログ電圧として求まる。また、カウンタによって2つの信号の時間差を測定することによっても位相差を求めることができる。装置は小型に設計されておりレーザビームを走査することにより、物体の形状の測定が可能となる。このとき最大測定可能距離は数百メートルと推定される。また、速度

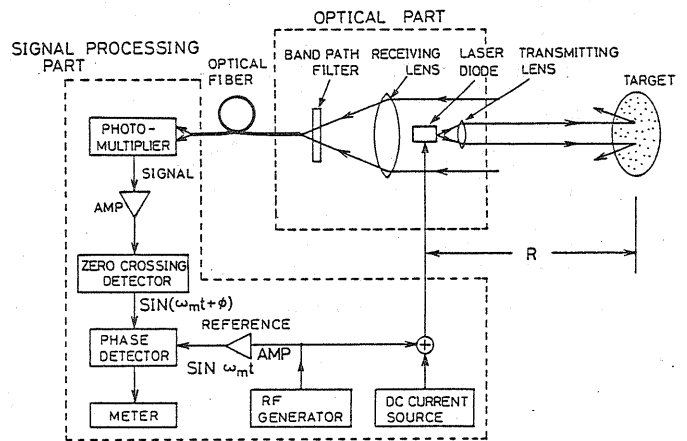


Fig. 1 IM位相差法による距離センサの基本構成図

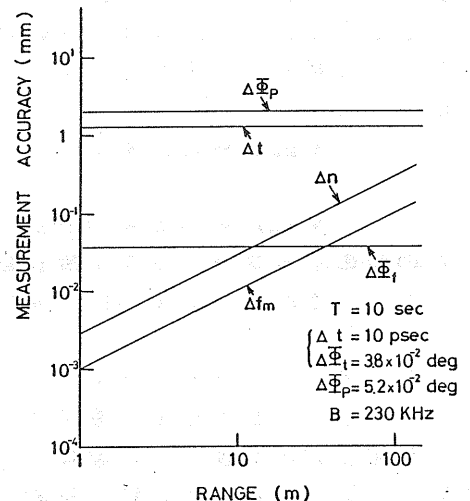


Fig. 2 IM位相差法による測定精度

計測に関しては、光軸方向に移動している運動散乱体に対して、一定時間内における距離の変化を測定することにより速度を求める方法が利用できる。Fig. 2にIM位相差法による測定精度の距離変化を示す。ここで、 $\Delta\phi_p$ はPLLを用いた位相分解能、 $\Delta t$ はカウンタによる時間(位相)分解能、 $\Delta n$ は大気の屈折率による誤差、 $\Delta f_m$ は変調周波数による誤差、 $\Delta\phi_f$ は増幅回路の位相変化率による誤差である。Fig. 2より測定誤差は、PLLまたはカウンタによる位相検出器の位相分解能によって制限され、それぞれ2.5mm及び1.2mm程度が期待される。

### 3. FMヘテロダイン法による距離・3次元物体形状の計測

数メートル以内の物体の距離や形状を比較的高精度で測定できる方法として、Fig. 3にFMヘテロダイン計測装置の構成図を示す。本方式はレーザ光のコヒーレンス特性を利用するため、スペクトル幅の狭い半導体レーザに注入電流により直線的にFMを加える。レーザ出力光をビームスプリッタにより基準系と測定系の2つのマイケルソン干渉計型の光学系に導く。この時、各々の光検出器の受光面では光路長により干渉縞が生じる。さらにレーザ光にはFMが加えられているため、各々の光検出器からの干渉によるビート信号の位相が変化する。このとき、ビート成分の位相偏移量 $\phi$ は次式で与えられる。

$$\phi = 2\pi\delta\tau \quad (2)$$

ここで、 $\tau = 2R/c$ 、 $R$ は散乱体距離、 $\delta$ はレーザ光の周波数偏移量である。従って、両者の位相偏移量の比より測定距離 $R$ が求められる。ここで、位相偏移量測定のためにカウンタを制作し、 $2\pi/2000\text{rad}$ の精度の測定を行った。この方法により、Al散乱体をターゲットとしたときの測定結果をFig. 4に示す。この測定により相対精度として $1 \times 10^{-4}$ 、絶対距離にして $\pm 50\mu\text{m}$ の測定精度が得られた。測定誤差の原因は信号波のS/Nの低下によるものと思われる。また、Fig. 5に物体を移動して測定した3次元物体形状の測定結果の一例を示す。

**4. おわりに** 本報告において、近距離における一般的な粗面散乱体に対する距離の計測法として、IM位相差法とFMヘテロダイン計測法を検討した。さらに、測定系のビート信号の高S/N化を行い、光検出器を2次元掃引して物体の距離を求めることにより物体を移動させることなく3次元物体形状の測定も可能となるものと考えられる。

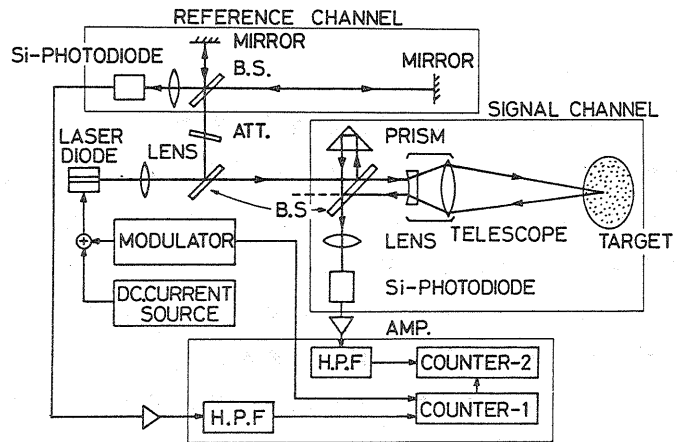


Fig. 3 FMヘテロダイン計測装置の基本構成図

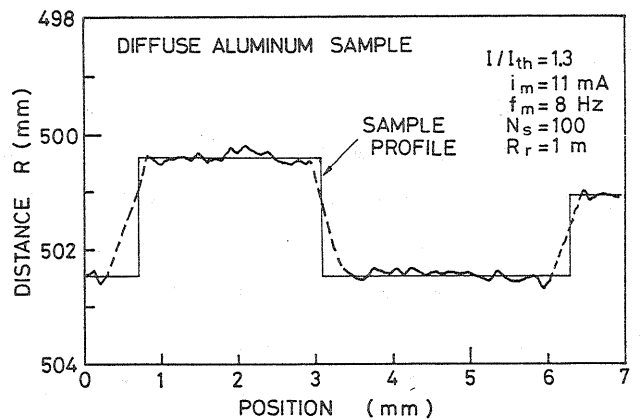


Fig. 4 Al散乱体の距離測定結果

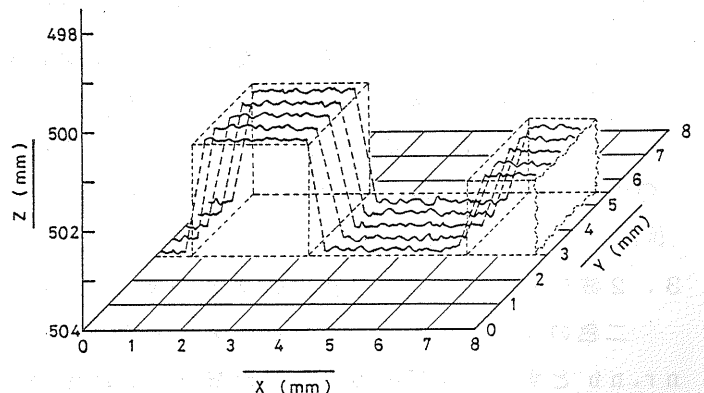


Fig. 5 Al散乱体の3次元形状測定結果