

J 6 正弦波状波長走査半導体レーザ干渉計による 複数反射物体の位置検出

桑原友和* 佐々木修己** 鈴木孝昌**

*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

はじめに

半導体レーザの注入電流を変化させることによる発振波長の走査幅は従来広く用いられているが、その走査幅は最大0.1nm程度であり、波長以上の光路差を高精度で測定することに対しては不十分であった。そこで本研究では大きな波長走査幅を持つ光源として外部共振器型半導体レーザ(TLD)を用いる。外部共振器を構成している平面鏡を正弦波状に振動回転させることにより、正弦波状の波長走査を行い、正弦波状波長走査半導体レーザ(SWS-TLD)を構成する。この光源を用いた干渉計で得られる干渉信号から複数反射物体の位置を高精度に検出する方法について述べる。干渉信号 $S(t)$ の波形は、反射物体までの距離 L に依存する。従って、干渉信号 $S(t)$ を演算処理することにより反射物体の像強度を距離 L の位置に得ることができる。この方法で求められる大まかな距離の値を初期値とし、共役傾斜法を行い、干渉信号 $S(t)$ を推定することによって、物体の位置を正確に求める。光源に波長走査幅の大きな SWS-TLD を用いることによってより高精度な測定が行える。

2. 実験装置

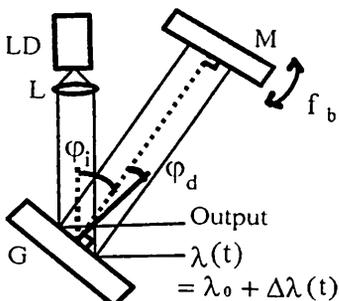


図1 SWS-TLD光源

図1に SWS-TLD 光源を示す。半導体レーザ(LD)からの光を平行光にし、回折格子 G に入射する。1次回折光はミラー M で垂直反射され LD に戻る。これにより、LD の後方反射面とミラー M の間で外部共振器を構成

する。0 次回折光は TLD の出力光となる。波長走査はミラー M を正弦波状に角周波数 ω_b 、回転振幅 a で振動回転させることにより行う。 φ_{d0} を回折角の初期値、 d を回折格子の格子間隔とすると、波長走査は次式で与えられる。

$$\Delta\lambda(t) = da \cos \varphi_{d0} \cos \omega_b t = b \cos \omega_b t$$

波長 790nm で出力 50mW の LD を用いて SWS-TLD を構成した。回折格子 G は 1200 本/mm のホログラフィック回折格子であり、入射角は φ_i は 47° 、回折角の初期値 φ_{d0} は 8° であった。ミラー M はレーザスキャナーで駆動されており、 $a=7.4\text{mrad}$ 、 $\omega_b/2\pi=30\text{Hz}$ であった。TLD の中心波長 λ_0 は 783.3nm であった。

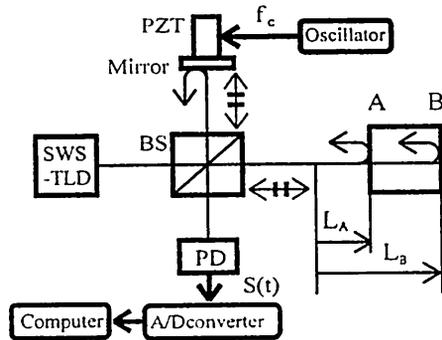


図2 実験装置

全体の実験装置を図2に示す。SWS-TLD からの平行光は、ビームスプリッタ(BS)で反射物体に照射される物体光と参照光に分けられる。参照光を PZT に取り付けられたミラーにより角周波数 ω_c で正弦波位相変調することにより、複数反射物体からの干渉信号を分離する。1 つの反射物体から生じる干渉信号は次式で表現される。

$$S(t) = \cos[Z_c \cos(\omega_c t + \theta) + Z_b \cos(\omega_b t) + \alpha]$$

但し、 $Z_b = (2\pi b / \lambda_0^2)(2L)$ であり、 Z_b より物体の位置 L を求めることができる。 $\omega_c/2\pi=1920\text{Hz}$ であり、干渉信号 $S(t)$ は A/D 変換されて計算機に入力され演算処理される。

3. 位置検出¹⁾

干渉信号 $S(t)$ をフーリエ変換を用いて処理し、キャリア信号が取り除かれた処理信号 $S_b(t) = A \sin[Z_b \cos(\omega_b t) + \alpha]$ を得る。この処理信号から得られる像強度は、距離 L に物体が位置するとき、位置 L で最大となる。この像強度分布から得られる大まかな反射物体の位置 L 、すなわち、大まかな Z_b の値が求められる。この Z_b の値を初期値として処理信号 $S_b(t)$ の推定解 $\hat{S}_b(t) = \hat{A} \sin[\hat{Z}_b \cos(\omega_b t) + \hat{\alpha}]$ を共役傾斜法により求める。このとき得られる \hat{Z}_b により物体の位置を高精度に測定することができる。

4. 実験結果

測定物体にカバーガラスの両端面を2物体として用い、位置 L_A 、 L_B を測定した。干渉信号 $S(t)$ より得られた処理信号 $S_b(t)$ を図3に示す。

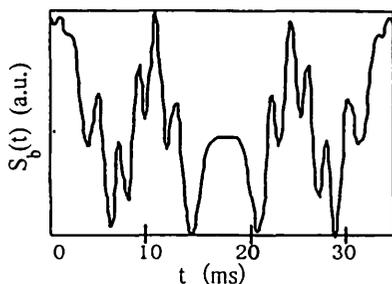


図3 処理信号 $S_b(t)$

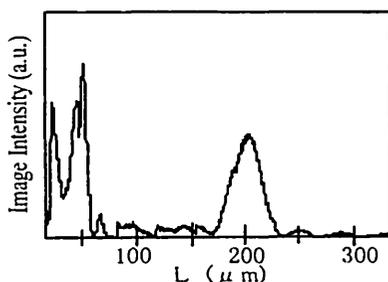


図4 複数物体の像強度分布

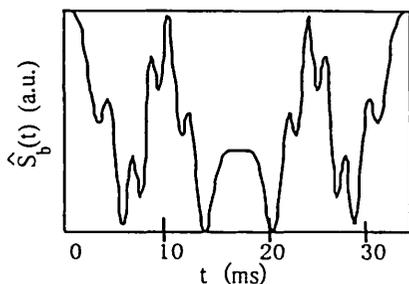


図5 推定解 $\hat{S}_b(t)$

処理信号から得られた像強度分布を図4に示す。図4から求められる $Z_{bA}=4$ 、 $Z_{bB}=19$ の大まかな値を初期値とし、共役傾斜法により得られた処理信号の推定解 $\hat{S}_b(t)$ を図5に示す。処理信号と推定信号がほとんど一致していることにより検索が正しく行われていることが分かる。すなわち2物体の位置が $L_A = 55 \mu\text{m}$ 、 $L_B = 224 \mu\text{m}$ であると測定された。次に、微動台の上に固定されたカバーガラスをマイクロメータで $10 \mu\text{m}$ ずつ移動させ、 \hat{Z}_{bA} 、 \hat{Z}_{bB} を求めた。図6に示す実験結果が得られた。これらの測定値に対し最小自乗法により傾きを求めた結果、 $\hat{Z}_b = 0.0586 \times L (\mu\text{m})$ の関係が求められた。この比例定数から波長走査幅 $2b$ は 5.72nm となった。また位置 L の誤差は $\pm 3 \mu\text{m}$ であり、高精度な測定が可能となっている。

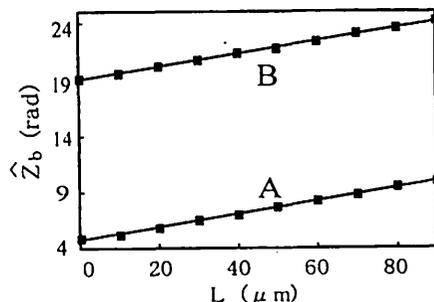


図6 測定結果

5. まとめ

半導体レーザーの注入電流を変化させることによる干渉計では数 $100 \mu\text{m}$ 程度の精度でしか得られなかった物体の位置を、約 6nm の大きな波長走査幅を持つ SWS-TLD を光源とする干渉計を用いることによって $\pm 3 \mu\text{m}$ の高精度で測定した。今後は、更に測定精度を向上させ、薄い物体や3物体の測定を行い、また複数物体の表面形状を測定する予定である。

参考文献

- 1) 原涼太他、平成8年度電子情報通信学会支部大会講演論文集(1996)49