

J 2 ヘテロダイン変調フェーズロック半導体レーザ干渉計に関する研究

宮田 健* 鈴木 孝昌** 佐々木 修己** 丸山 武男**

*新潟大学大学院自然科学研究科

**新潟大学工学部

1. はじめに

物体の微細形状、表面粗さ、移動距離、振動などの測定には、近年、干渉信号の位相に着目した、様々な高精度干渉法が提案されている。

特にフェーズロック半導体レーザ(PLL)干渉計は、干渉信号の位相をある特定の値にロックすることで、複雑な計算処理を行うことなく、実時間で物体の変位を求めることができる。¹⁾

ここでは、三角波状の変調電流によって、ヘテロダイン変調された干渉信号に対し、フェーズロック処理を施す新しいPLL干渉計を提案する。

本干渉計では、従来の正弦波位相変調干渉信号を用いる方法に比べ、フィードバック信号の生成が容易であるという利点がある。

2. 原理

図1に、実験装置の構成を示す。半導体レーザ(LD)からの出射光を、レンズ(L)で平行光にし、光路差 $2D_0$ のトワイマン・グリーン型干渉計に入射する。ミラー(M)からの反射光である参照光と、圧電素子(PZT)に取り付けたミラーからの反射光である物体光を光検出器(PD)上で干渉させる。

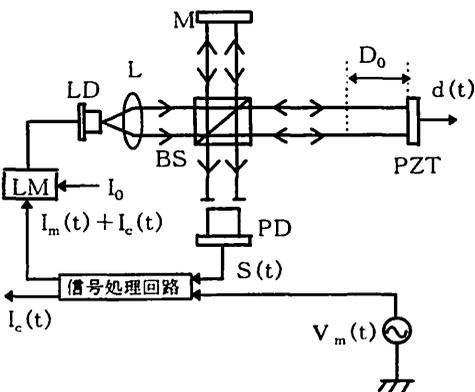


図1 実験装置の構成

LMは半導体レーザ変調器で、直流電流 I_0 に傾き b で直線的に変化する変調電流

$$I_m(t) = bt \quad (2-1)$$

を重畳し、LDに注入する。これによりヘテロダイン変調干渉信号 $S(t)$ が得られる。 $S(t)$ の直流成分を S_1 、交流成分の振幅を S_0 、PZTの時間的変位を $d(t)$ とすれば、 $S(t)$ は次式で与えられる。

$$S(t) = S_1 + S_0 \cos\{\omega_c t + \alpha(t)\} \quad (2-2)$$

$$\text{但し、} \omega_c = (4\pi/\lambda_0^2)b\beta\{D_0 + d(t)\} \quad (2-3)$$

$$\alpha(t) = (4\pi/\lambda_0)\{D_0 + d(t)\} \quad (2-4)$$

ここで、 ω_c はヘテロダイン干渉信号のビート角周波数、 $\alpha(t)$ は時間的に変化する干渉信号の位相、 λ_0 、 β はそれぞれ、半導体レーザの中心発振波長および電流変調効率である。

本干渉計では、干渉信号の位相項 $\alpha(t)$ を位相目標値 α_0 にロックすることにより微小振動振幅 $d(t)$ を求める。 $d(t) = 0$ を基準においたときの位相目標値 α_0 は、(2-4)式より

$$\alpha_0 = (4\pi/\lambda_0)D_0 \quad (2-5)$$

とおける。 $\alpha(t)$ が α_0 にロックするように制御電流 $I_c(t)$ を半導体レーザへ注入すると、半導体レーザの発振波長が λ_0 から $\lambda_0 + \lambda_c(t)$ に変化し、 $\alpha(t)$ は以下の式で与えられる。

$$\alpha(t) = [4\pi/\{\lambda_0 + \lambda_c(t)\}]\{D_0 + d(t)\} \quad (2-6)$$

$$\text{但し、} \lambda_c(t) = \beta I_c(t) \quad (2-7)$$

(2-5)、(2-6)式より

$$(4\pi/\lambda_0)D_0 = [4\pi/\{\lambda_0 + \lambda_c(t)\}]\{D_0 + d(t)\} \quad (2-8)$$

が得られ、上式に(2-7)式を代入して整理することにより、以下の関係式を得る。

$$d(t) = (D_0 / \lambda_0) \beta I_c(t) \quad (2-9)$$

ここで D_0 、 λ_0 、 β はそれぞれ定数であるので、 $I_c(t)$ を測定することにより、微小振動振幅 $d(t)$ を計測できる。

3. 実験装置の構成

図2に信号処理回路のブロック図を示す。 $\alpha(t)$ を位相目標値 α_0 にロックするために、干渉信号を微分回路に通し、その微分信号 $(d/dt)S(t)$ を変調電圧がゼロクロスする点において、サンプルホールドし、ローパスフィルターを通すことにより、フィードバック信号とする。このフィードバック信号をPI調節計に入力し、制御電流 $I_c(t)$ を得る。この制御電流を半導体レーザに注入することにより、干渉信号の位相を一定値にロックし、さらに外乱の除去を行う。また、干渉信号の位相をロックしているときの制御電流を測定することにより、微小振動振幅を計測する。

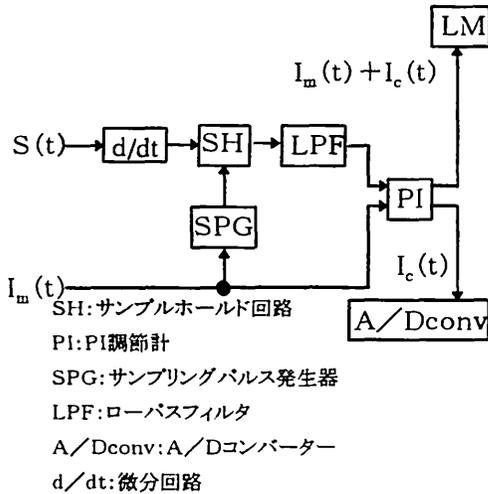


図2 信号処理回路ブロック図

4. 実験結果

図3に、変調電圧およびフェーズロックされた干渉信号を示す。変調電圧がゼロとなる時刻において、干渉信号が最大になり、位相が $2n\pi$ (n は整数)にロックされていることが分かる。

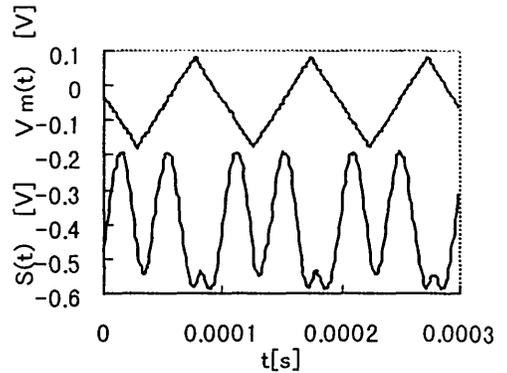


図3 変調電圧とフェーズロック信号

次に制御電流 $I_c(t)$ を測定したので、その結果を図4に示す。PZTの駆動電圧に相似の波形を測定できていることが分かる。(2-9)式より振動振幅を測定することが可能であると考えられる。

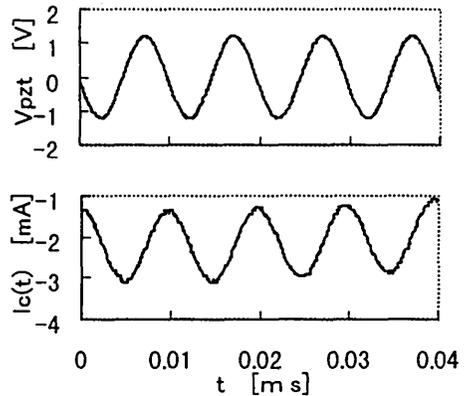


図4 実験結果

5. まとめ

ヘテロダイン変調を用いたフェーズロック半導体レーザ干渉法を提案し、微小振動測定が可能であることを示した。さらに干渉信号のビート角周波数を測定することにより、光路差 D_0 の絶対距離測定ができる可能性があり、今後は、本干渉計を応用した、絶対距離測定について、実験を進める予定である。

【参考文献】

1) T.Suzuki, O.Sasaki, and T.Maruyama, "Phase locked laser diode interferometry for surface profile measurement," Appl. Opt. 26, 4407-4410 (1989)