

N6 波長安定化ループを有する半導体レーザセルフミキシング干渉計

入澤勉* 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

電子機器の小型化・高集積化に伴い、部品加工に用いられる回転主軸は、非常に高い回転域で使用されている。このため回転部の熱膨張などによる加工精度の劣化が問題になっている。熱膨張のように長時間に渡ってゆっくりと変位する物体の位置を検出する場合には、長時間に渡って安定した測定が行えるシステムが必要である。また、工作現場などにおいて使用するためには振動に強く、工作機械に取り付けやすいようなコンパクトな装置が求められている。

本研究では装置を小型にするため構成が簡単で振動に強いという特徴を持つ半導体レーザセルフミキシング干渉計¹⁾を用いる。

一方、半導体レーザ(LD)の発振波長 λ は温度によって時間的に変化するため、長時間に渡って安定な測定を行うためには、 λ の変化を補償する必要がある。通常は、LD に温度補償器を付けるが、装置が大掛かりで高価になるという問題がある。そこで本システムでは、時分割制御を用いた電氣的なフィードバックを採用し、波長の安定化を行った。

2. 原理

2.1 セルフミキシング干渉計

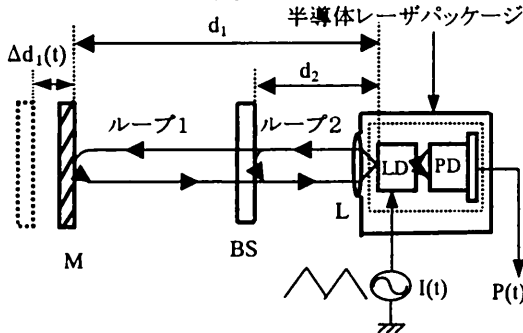


図1 セルフミキシング干渉計

図1にセルフミキシング干渉計の原理を示す。三角波で波長変調されたレーザ光をLDから出射してレンズ(L)で平行光とし、測定物体(ミラーM)に入射する。ミラーからの反射光は同一の光路をたどって再びLDに戻り、セルフミキシング干渉の効果により光強度が変調される。この光出力 $P(t)$ をLDのパッケージ内に内蔵されたフォトダイオード(PD)で検出する。この干渉計をループ1とする。また、ビームスプリッタ(BS)を固定し、ループ1と同様にBSとLD間でセルフミキシング干渉を行う。このループをループ2とする。この時ループ1とループ2の光軸は一

致している。

$P(t)$ は、干渉縞の光強度変化(干渉信号 $S(t)$)と変調電流 $I_m(t)$ に同期した光強度変化が重畳した出力であり、LDの変調によって生じる光出力変化分を除去しなければならない。また、1つのPDで各ループの2つ干渉縞の光強度変化を検出するため、重なった干渉信号を分離する必要がある。そこで $S(t)$ の角周波数が光路差 d に比例することを利用し、 d_1 と d_2 の差によって生じた周波数成分ごとにバンドパスフィルタ(BPF)で信号を分離し、各 $S(t)$ を抽出する。また、BPFに通す事でLDの変調電流による光出力変化分を除去できる。

LDの中心発振波長を λ_0 、初期位相を α とするとループ1およびループ2で得られる干渉信号 $S(t)$ は、

$$S_i(t) = S_0 \cos \alpha_i \quad (i=1, 2) \quad (1)$$

$$\alpha_i = 4\pi d_i / \lambda_0 \quad (i=1, 2) \quad (2)$$

となり、従来の二光束干渉計と同様の信号が得られる。

2.2 波長安定化の原理

一般にLDは、注入される電流が Δi だけ変化すると、

$$\Delta \lambda = \beta \cdot \Delta i \quad (3)$$

により発振波長が $\Delta \lambda$ だけ変化する。 β は電流変調率である。従って注入電流によって波長を制御できる。

図1に示す干渉計のループ2が光路差 d_2 一定のときLDの中心発振波長 λ_0 が時間的に $\lambda(t)$ だけ変化すると $S_2(t)$ の位相は、

$$\hat{\alpha}_2 = \frac{4\pi d_2}{\lambda_0 + \lambda(t)} \quad (4)$$

となる。ここで Δi を変化させ波長が $\Delta \lambda_2(t) = -\lambda(t)$ となるように制御すると次式のように位相が α_2 に補正され、波長が安定化される。

$$\alpha_2 = \frac{4\pi d_2}{\lambda_0 + \lambda(t) + \Delta \lambda_2(t)} = \frac{4\pi d_2}{\lambda_0} \quad (5)$$

また、 Δi を測定することで発振波長の変化 $\lambda(t)$ を得ることができる。

$$\lambda(t) = -\Delta \lambda_2(t) = -\beta \cdot \Delta i(t) \quad (6)$$

2.3 変位測定の方法

図1の干渉計のループ1において、光路差 d_1 が振幅 $\Delta d_1(t)$ で微小に振動すると光路差が $d_1 + \Delta d_1(t)$ と変化し位相は次式になる。

$$\hat{\alpha}_1 = \frac{4\pi [d_1 + \Delta d_1(t)]}{\lambda} \quad (7)$$

ここで $\hat{\alpha}_1$ が α_1 に戻るよう注入電流に対してフィードバ

ク(FB)制御を行うと、波長が $\lambda \rightarrow \lambda + \Delta\lambda_1(t)$ と変化し、次式のように位相が α_1 に補正される。

$$\alpha_1 = \frac{4\pi[d_1 + \Delta d_1(t)]}{\lambda + \Delta\lambda_1(t)} = \frac{4\pi d_1}{\lambda} \quad (8)$$

従って、この時必要な制御電流 Δi を測定することで次式を用いて変位 $\Delta d_1(t)$ を測定することができる。

$$\Delta d_1(t) = \frac{d_1}{\lambda} \cdot \Delta\lambda_1(t) = \frac{d_1}{\lambda} \cdot \beta \cdot \Delta i(t) \quad (9)$$

3.実験装置の構成

図2に実験装置の構成を示す。光源には、発振波長785nm、出力50mWのLDを使用した。測定物体Mは圧電素子(PZT)に固定されたミラーである。P(t)を信号処理回路(SPU)に入力し、波長の変化を反映するFB信号F₁(t)を生成する。これをA/Dコンバータで取り込みループ2の波長変化を測定する。

図3に信号処理回路(SPU)のブロック図を示す。P(t)をBPFに通し周波数の異なる干渉信号S₁(t)およびS₂(t)を分離、抽出する。次に各S(t)をサンプルホールドローパスフィルタを通してS₁(t)およびS₂(t)に対するFB信号F₁(t)及びF₂(t)をそれぞれ生成する。比例積分調節器PI₁およびPI₂から出力される制御電圧をスイッチ(SW)に通し、FB制御を時分割で交互に行う。²⁾

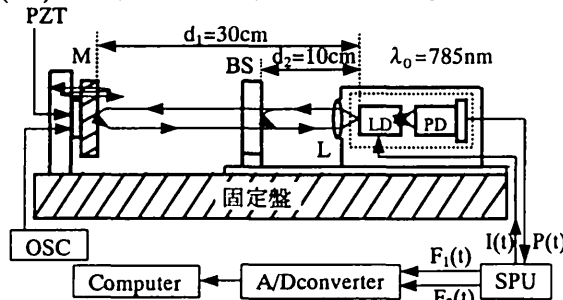


図2 実験装置の構成

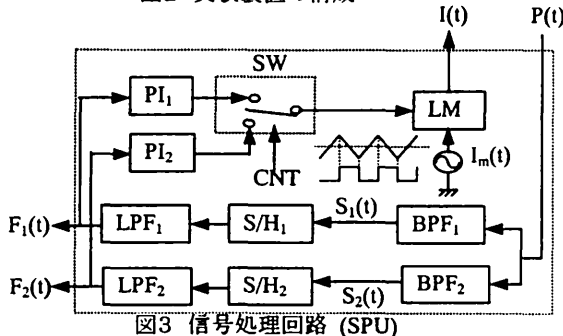
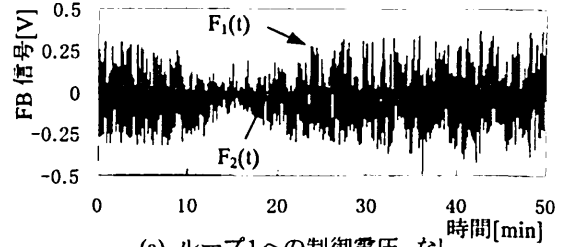


図3 信号処理回路 (SPU)

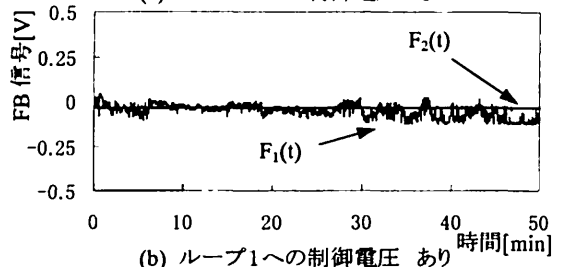
4.実験結果

波長安定化の効果を確認するためにループ1のFB制御ループを開き、ループ2のみで50分間に渡りFB制御を行った。このときの観測されたFB信号を図4(a)に示す。

F₁(t)が大きく変動しているのがわかる。次にループ2から観測される波長変動を制御電圧として取り出し、この電圧をループ1の制御電圧として用いた。結果を図4(b)に示す。F₁(t)、F₂(t)とも振幅が小さく抑えられ電気的なFBによる波長安定化が良好に行われていることが確認された。



(a) ループ1への制御電圧 なし



(b) ループ1への制御電圧 あり

図4 FB信号F₁(t)およびF₂(t)

次に、ループ1とループ2のFBループを閉じて、時分割で独立に制御を行った。この時、ミラーMにはPZTで正弦波状の振動を与えた。観測結果を図5に示す。PZTの振動による物体変位と波長変動が同時に観測され、物体変位と波長変動を独立に実時間で検出できることが確認できた。

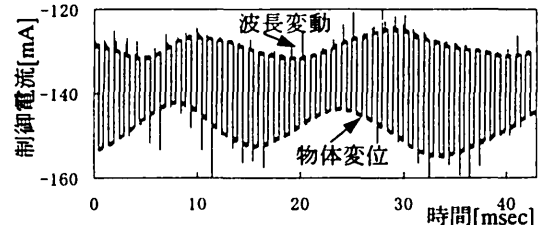


図5 物体変位と波長変動の時分割FB制御による検出

5.まとめ

2つの光学ループを持つセルフミキシング干渉計を提案し、一方のループの出力を用いて波長安定化を行える見通しを得た。また、時分割制御により、物体の振動と波長変動を同時に観測できることも確認できた。今後、波長を安定化させた状態で物体変位を測定していく予定である。

【参考文献】

- 1) T.Suzuki, et al., Opt. Eng., Vol.38, pp.543 (1999).
- 2) T.Suzuki, et al., Appl. Opt., Vol.31, pp.7242 (1992).