K10 時分割変調を用いた2波長型正弦波位相半導体レーザ干渉計

矢澤隆幸*　　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

半導体ウェハーの欠陥検査装置に半導体レーザを光源とする干渉計測システムが提案されている。これは半導体レーザを使うため他の高価な計測器に比べ安価で高効率、非接触でありながら非常に高精度な計測が可能である。しかし、従来の干渉計はレーザ波長λを基準に位相差を測定しているため 1/2 波長以上の測定は困難であった。このため、測定範囲を拡大した高精度の計測システム実現に対する要求が大きい。本報告では、測定範囲を拡大する2波長法[1]と高精度な計測が実現できる積分値解析法[2]の2つの方法を同時に用いることにより、上で述べた広範囲・高精度の干渉計測システムを提案する。

2. 原理

2.1 2波長法の原理

2波長法では、2つの異なるレーザ波長(670nm, 785nm)を用い、2つの干渉縞を独立に生成する。物体と参照鏡との光路差をLとすると、波長λ_1およびλ_2に対して生成される干渉信号の位相は、

$$\alpha_1 = \frac{2\pi L}{\lambda_1} \tag{1}$$

$$\alpha_2 = \frac{2\pi L}{\lambda_2} \tag{2}$$

で与えられる。α_1とα_2の位相差$\Delta\alpha$は

$$\Delta\alpha = \alpha_1 - \alpha_2 = \frac{2\pi}{\Lambda} L \tag{3}$$

ただし、

$$\Lambda = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{|\lambda_1 - \lambda_2|} \tag{4}$$

である。ここでΛは等価波長と呼ばれオリジナルの波長λ_1、λ_2よりもずっと大きな値となるため測定範囲を拡大できる。その反面測定精度は低下する。

ここでα_1が2πを超えている場合には、

$$\alpha_1 = \hat{\alpha}_1 + 2n\pi \quad (0 < \hat{\alpha}_1 < 2\pi \quad n: \text{整数}) \tag{5}$$

であり、波長λ_1及び等価波長Λから求まる光路差L_1及びL_0はそれぞれ

$$L_1 = \frac{\lambda_1(\hat{\alpha}_1 + 2n\pi)}{2\pi} \tag{6}$$

$$L_0 = \frac{\Delta\alpha \cdot \Lambda}{2\pi} \tag{7}$$

となる。

$L_0 = L_1$ の条件よりnを求めると

$$n = \frac{1}{2\pi}\left(\frac{\Lambda}{\lambda_1}\Delta\alpha - \alpha_1\right) \tag{8}$$

となる。

(6)式に(8)式で求めたnを代入すると単一の縞画像の精度で形状を求めることが出来る。

2.2 時分割変調を用いた積分値解析法の原理

図1に実験装置の構成を示す。波長の異なる2つのLDを同時に駆動し変調電流 $Im(t) = a\cos(\omega_c t + \theta)$ で変調を施すと、M1、M2、BS2よりなるトワイマ

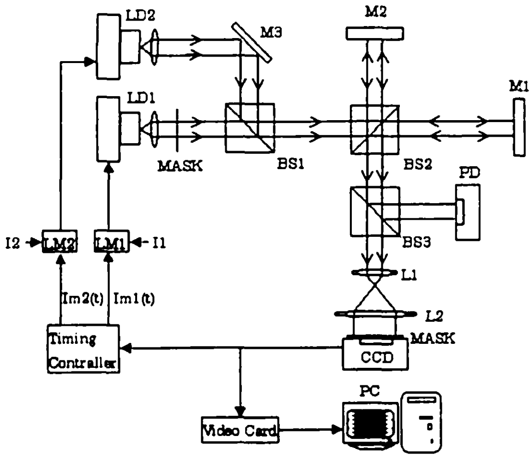

図1　実験装置の構成

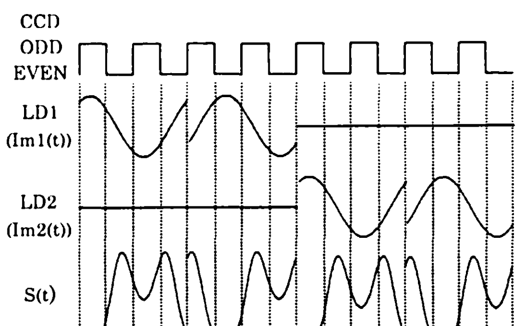

図2　変調電流注入のタイミング

ングリーン型干渉計で得られる干渉信号は LD1 および LD2 に対してそれぞれ

$$S_1(t) = S_{d1} + S_{01}\cos\{Z\cos(\omega_c t + \theta) + \alpha_1\} \quad (9)$$

$$S_2(t) = S_{d2} + S_{02}\cos\{Z\cos(\omega_c t + \theta) + \alpha_2\} \quad (10)$$

となる。これらの信号を CCD カメラで観測すると変調電流の 1/4 周期ごとに得られる信号は CCD カメラの電荷積分機能により、

$$p_i = \int_{(T/4)(i-1)}^{(T/4)i} \{S_1(t) + S_2(t)\}dt \quad i = 1 \sim 4 \quad (11)$$

となる。本干渉計では、CCD 上で重なり合った$S_1(t)$ $S_2(t)$を分離するため、図２に示すタイミングで変調電流を注入する。すなわち、LD1 のみに変調電流を注入し、LD2 についてはその期間変調電流をゼロにする。この結果 LD2 については、各積分値 $p_1 \sim p_4$ がすべて等しくなる。$p_1 \sim p_4$を加減算することにより、LD1 についてのみ

$$p_1 - p_2 + p_3 - p_4 = A_c\cos\alpha_1 \quad (12)$$

$$p_1 + p_2 - p_3 - p_4 = A_s\sin\alpha_2 \quad (13)$$

が得られ $Z = 2.45, \theta = 56°$ の条件を満たすことによって $\cos\alpha_1$ と $\sin\alpha_1$ の振幅A_cとA_sを等しくすることが出来る。これによって、LD1 についてのみ $\cos\alpha_1$, $\sin\alpha_1$の位相情報を得ることが出来る。同様に LD2 に変調電流を注入中に LD1 の変調電流をゼロにすることで LD2 についてのみ$\cos\alpha_2, \sin\alpha_2$の位相情報を得ることが出来る。こうして得られた４つの信号 $\cos\alpha_1, \sin\alpha_1, \cos\alpha_2, \sin\alpha_2$を乗算、加減算処理すると

$$\cos\alpha_1\cos_2 - \sin\alpha_1\sin\alpha_2 = \cos(\alpha_1 - \alpha_2) \quad (14)$$

$$\sin\alpha_1\cos_2 + \cos\alpha_1\sin\alpha_2 = \sin(\alpha_1 - \alpha_2) \quad (15)$$

を得ることが出来る。これらの信号により位相差 $\Delta\alpha$ を求めると、

$$\Delta\alpha = \tan^{-1}[\sin(\alpha_1 - \alpha_2)/\cos(\alpha_1 - \alpha_2)] \quad (16)$$

また、α_1 を求めると

$$\alpha_1 = \tan^{-1}[\sin\alpha_1/\cos\alpha_1] \quad (17)$$

であり、測定物体に対する L は、(6)式に(8),(16),(17)式を代入して、

$$L = \frac{\lambda_1 \cdot \left\{\hat{\alpha}_1 + 2\pi\left\{Int\frac{1}{2\pi}\left(\frac{\Lambda}{\lambda_1}\Delta\alpha - \alpha_1\right)\right\}\right\}}{2\pi} \quad (18)$$

で求めることが出来る。

3. 実験方法

LD1 と LD2 を同時に駆動し、時分割変調して得られた縞画像を CCD 及びビデオカードを用いてパソコンに取り込み画像処理を行う。実験で用いた変調信号の周波数は 15Hz、LD1 及び LD2 の波長はそれぞれ 670nm,785nm である。

4. 実験結果

図３及び図４に本方法により観測された位相α_1及びα_2を示す。LD1 と LD2 を同時に駆動して得られる重なり合った干渉信号から各 LD に対応した位相を分離して検出できることが確認できた。

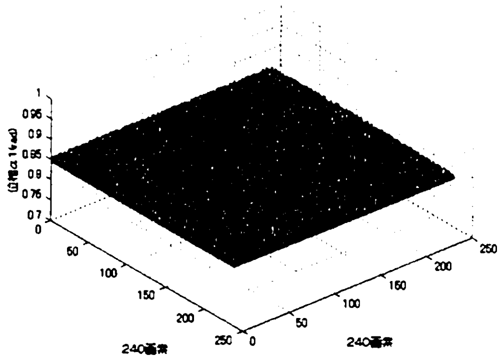

図３　LD1 に対する位相 α_1

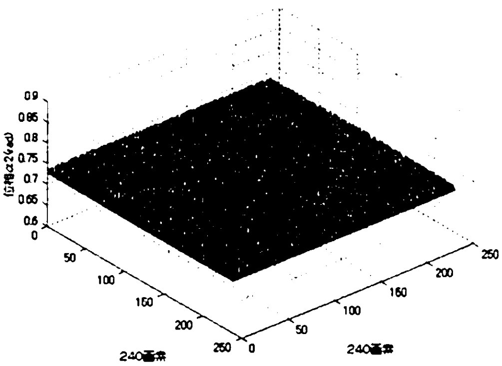

図４　LD2 に対する位相 α_2

5. まとめ

時分割変調により、CCD 上で重なり合った２つの干渉信号から、その位相を分離して検出できることを示した。２波長法と積分値解析法の２つの方法を同時に用いることにより物体の表面形状計測や段差形状計測を行い本干渉計の測定範囲及び測定精度を調べていく予定である。

[参考文献]

1) A. J. den Boef, "Two-wavelength scanning spot interferometer using single-frequency diode lasers, " Appl. Opt., 27, 306 (1988).

2) O. Sasaki, H. Okazaki, and M. Sakai, "Sinusoidal phase modulating interferometer using the integrating-bucket method, " Appl. Opt., 26, 1089 (1987).