

シアリング干渉計による高精度表面計測

Laser surface profiling in terms of shearing interferometer

○佐藤 大祐, 笹本 益民, 吉森 久

○Daisuke Sato*, Masumi Sasamoto*, Kyu Yoshimori*

岩大院工

*Graduate School of Eng., Iwate Univ.

キーワード:干渉計測(Interferometry)シアリング干渉計(shearing interferometer), ヘテロダイン(heterodyne), 偏光(polarization), 閉ループ(closed loop)

連絡先:〒020-8551 岩手県盛岡市上田 4-3-5 岩手大学 工学研究科 電気電子・情報システム工学専攻 吉森研究室 佐藤 大祐, Tel:(019)621-6485, E-mail:satou@ql.cis.iwate-u.ac.jp

1.はじめに

表面形状を計測する手法の一つとして、ダブルシアリング干渉計が提案されている¹⁾。この手法は二つの独立したシアリング干渉計で構成されており、分割したレーザー光を試料上に等間隔に直線的に3点照射し、隣接する2点間の高低差を得る手法である。ヘテロダイン検出と組み合わせる事により、高い分解能で傾きを分離した表面形状が得られる。しかし、2つのシアリング干渉計が独立しているため、較正が困難な相対的な位相差が生じる。このため、従来法では表面形状の平均が平坦であるという仮定の下に、相対位相差を推定し、表面形状を得る手法がとられており、測定できる資料が平坦である物に限られていた。本研究ではダブルシアリング干渉計の測定経路を閉ループとする事により測定と同時に相対位相差を取

得し表面形状を得る手法を提案する。

2.原理

ダブルシアリング干渉系を Fig.1(a), (b)に示す。Fig.1(a)は実験系を上部から見た図、Fig.1 (b) は Fig.1(a)に示される計測ヘッド内部の図である。光源である直交2周波レーザーから出た光は、BSで反射され、2枚の $\lambda/4$ 波長板を通過し、ヘッド内部へ入射する。ヘッド内部に入った光はミラーで反射され平行板で2本のレーザー光に分割され、2本の平行光となる。この平行光の間隔が、計測間隔 ΔX となる。その後方解石に入射し、偏光成分ごとに分割され、3本の光線となる。方解石は分割される光線の間隔が ΔX に等しくなるように設計されている。方解石から出た光は試料の表面で反射され、再び方解石へ入射する。

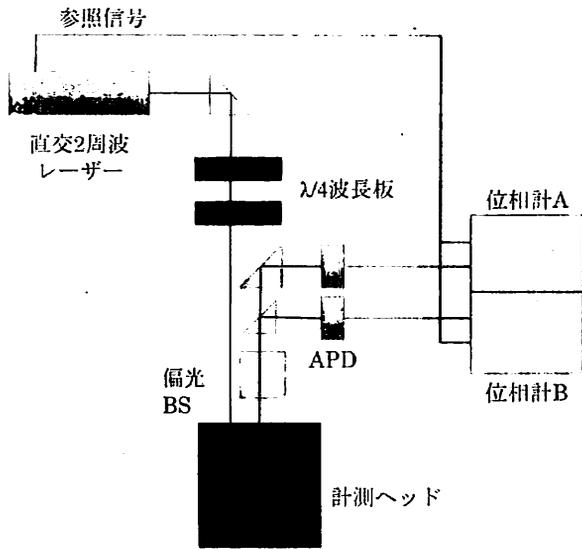
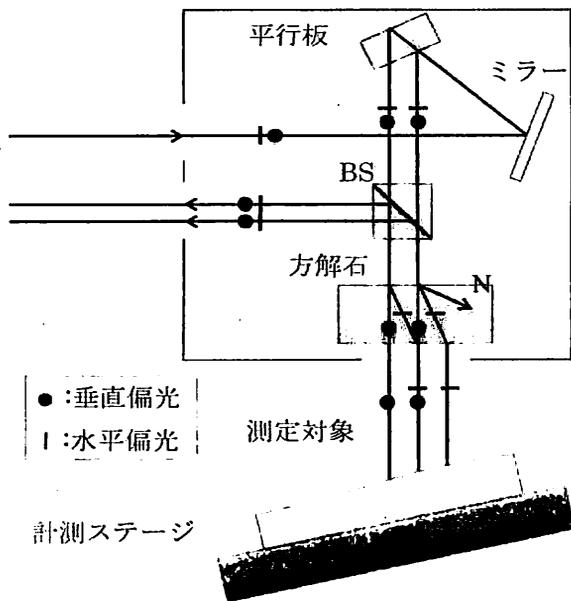


Fig.1(a) 実験系俯瞰図.



(b)計測ヘッド内部図.

分割された光線は方解石により再び重ね合わせられ、試料の2点の高低差情報を含む光線となる。その後、BSにより反射され、45°傾けて設置された偏光BSに入射する。偏光BSにより、直交した偏光成分が重ね合わせられた後、ビート信号がAPDで検出される。

検出された2本の光は位相計A,Bにより、それぞれのビート信号と参照ビート信号と比較され、位相差を取得する。位相差は計測ステージを ΔX 走査する毎に記録される。

続いて、表面形状の取得方法について示す。レーザー光が照らす測定対象の3点の高さをそれぞれ Z_{n-1}, Z_n, Z_{n+1} とすると、2点間の高低差 $\Delta Z_{n-1}, \Delta Z_n$ はそれぞれ

$$\Delta Z_{n-1} = Z_n - Z_{n-1} \quad (1a)$$

$$\Delta Z_n = Z_{n+1} - Z_n \quad (1b)$$

と表す事ができる。二つの干渉計により得られる高低差をそれぞれ $\Delta Z_A(n), \Delta Z_B(n)$ とすると、計測された値は2点間の高低差とステージの傾き ΔT_n を含んでいるから、

$$\Delta Z_A(n) = \Delta Z_{n-1} + \Delta T_n \quad (2a)$$

$$\Delta Z_B(n) = \Delta Z_n + \Delta T_n + \Delta Z_{er} \quad (2b)$$

と表す事ができる。ここで ΔZ_{er} は二つの干渉計間の相対位相差を表す。式(2a), 式(2b)から傾きをキャンセルすると、

$$\Delta Z_n - \Delta Z_{n-1} = \Delta Z_B(n) - \Delta Z_A(n) - \Delta Z_{er} \quad (3)$$

が得られる。また、 ΔZ_n は、

$$\Delta Z_n = \sum_{i=1}^n (\Delta Z_i - \Delta Z_{i-1}) + \Delta Z_0 \quad (4)$$

と表す事ができ、式(3)を代入する事により、

$$\Delta Z_n = \sum_{i=1}^n (\Delta Z_B(i) - \Delta Z_A(i)) - n\Delta Z_{er} + \Delta Z_0 \quad (5)$$

が得られる。

高さ Z_n は式(1a)より

$$\begin{aligned} Z_n &= Z_{n-1} + \Delta Z_{n-1} \\ &= \sum_{i=1}^n \Delta Z_i + Z_0 + \Delta Z_0 \end{aligned} \quad (6)$$

と表され、式(5)より、

$$Z_n = \sum_{i=1}^{n-1} (n-i)(\Delta Z_B(i) - \Delta Z_A(i)) - \frac{(n-1)n}{2} \Delta Z_{er} + n\Delta Z_0 + Z_0 \quad (7)$$

と表す事ができる。

本手法では ΔZ_{er} を計算するため、計測ステージを回転させ、開始点と終点が一致するような閉ループ走査をおこなう。測定対象における開始点と終点の高さ、勾配は等しい事から、

$$\Delta Z_N = \Delta Z_0 \quad (8a)$$

$$Z_N = Z_0 \quad (8b)$$

の関係が得られる。ここで N は 1 回の測定におけるステップ数を表す。この関係から、式(5)、(7)より ΔZ_{er} を決定できる。この ΔZ_{er} を利用し、試料の表面形状を得る。

3. 実験

実験で使用した光源は、波長 $\lambda=632.8\text{nm}$ の周波数安定化ゼーマン He-Ne レーザーである。出力は 2mW 、ビーム径は 0.8mm である。出力光は周波数の異なる互いに直交した二つの直線偏光であり、その周波数差は約 190kHz であった。測定対象は面精度 $\lambda/4$ のミラーとした。レーザーの照らす 2 点間の間隔 ΔX は 2.7mm 、1step あたりの回転角は 12° とし、1 回の実験での step 数は 30 でとした。このとき、1step あたりの回転が ΔX と等しくなるように、閉ループの半径を 12.7mm とした。合計の測定距離は 81mm 、1 周あたりの計測時間は約 2 分であった。実験系の再現性を評価するために、10 回の計測をおこなった。その結果から得られた形状の平均と格点での偏差を表したものを Fig.2 に示す。図に示さ

れた結果から、面精度の範囲内で形状が変化しているということがわかる。また、今回の測定において、各点における標準偏差の平均は 5.71nm であった。

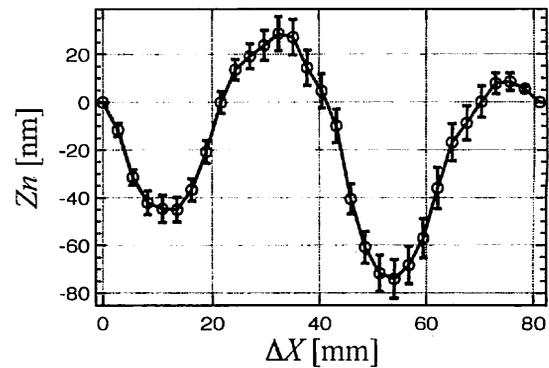


Fig.2 得られた表面形状の平均と偏差

4. まとめ

干渉計の測定経路を閉ループとし、計算により得られた相対位相差を利用し、表面形状の得る手法を提案し、実際に実験を行った。今回、10 回計測をした結果、面精度内の表面形状を得ることができることを確認し、その標準偏差は 5.71nm であった。

参考文献

- 1) T Yokoyama, S Yokoyama, K Yoshimori and T Araki, "Sub-nanometer double shearing heterodyne interferometry for profiling large scale planar surfaces", Meas. Sci. Technol. 15 2435-2443(2004)