

光ヘテロダイナミクス干渉法による高精度計測について

青森県産業技術開発センター

○横濱和彦 千葉昌彦 小野浩之 櫛引正剛
岡山 透 天間 毅 花松憲光 篠木藤敏

1. はじめに

近來、各種分野の技術水準の向上にともない、微細な材料加工の精度が急速に向上し、サブミクロンオーダーの超精密加工が要求されるようになってきている。これに対して設計どおりにできているかを確認するための計測技術もサブミクロンオーダーの精度が要求されており、触針、光触針、光干渉、光学顕微鏡、電子顕微鏡、STM (Scanning Tunneling Microscope: 走査トンネル顕微鏡) 等多くの計測方法が開発されている¹⁾。

しかし、計測方法によっては、計測時間がかかるとか、形状や走査領域によって分解能が制限されてしまうなどの問題点も存在している。

こうした様々な形状計測技術のなかで非接触でサブミクロンの長さを測る方法として、ヘテロダイナミクス干渉法を検討した。これは2光束の干渉によって発生するビート光を検出する方法である。その2つのビート光の位相の変化を電氣的に計測し処理することで、2点間の高低差が高精度で計測出来る方法である。

この計測方法は計測精度が高いこと、光の多少の強弱に左右されないこと、実時間での計測が可能であること等の利点がある。しかし、その反面1点ずつの計測となり、干渉縞画像計測法ができるような多点同時計測はできない²⁾。本研究では、この2光束を走査しながら計測することで、広範囲に形状を高精度で計測する走査型光ヘテロダイナミクス干渉計測システムの構築とシステムの計測精度について多少の知見を得たので報告する。

2. 実験方法

2-1. システム

実験システムは He-Ne レーザ光源 (05LHP-151: キノ・メレスグリオ (株))、AO 素子 (DTS.XY.400: TEM (株))、ガルバノミラー (6800/CB6588: CAMBRIDGE TECHNOLOGY, INC.)、スキャンレンズ (オリジナル: キノ・メレスグリオ)、受光素子 (C5331: 浜松フォトニクス (株)) の他、レンズ、ハーフミラーなどの光学部品、走査領域の制御や検出データの処理を行うパーソナルコンピュータ (PC-9821XA: 日本電気 (株))、信号発

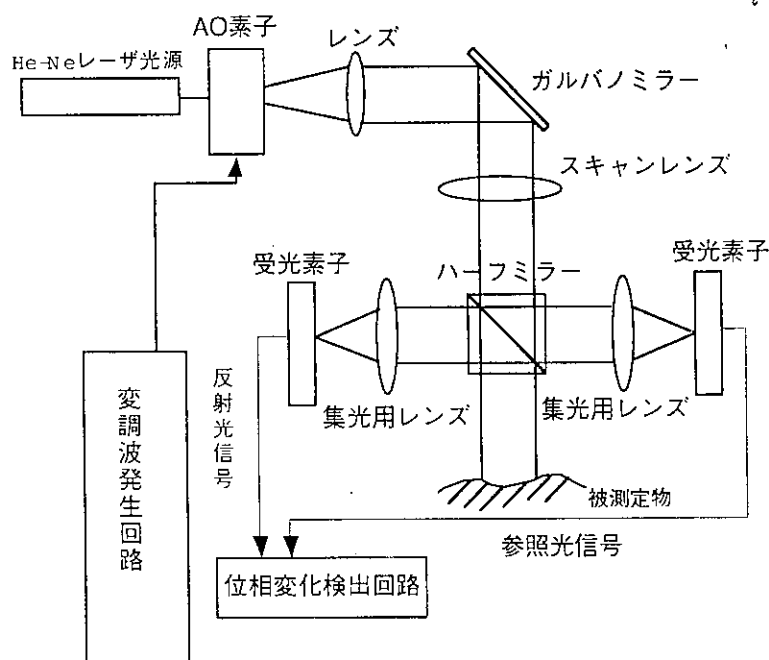


図1 光ヘテロダイナミクス干渉計測レイアウト

生器 (8116A: 横河 HP (株))、AO 素子へ入力する変調波の発生用回路、ビート光の位相変化検出回路から構成した (図 1)。

まず、光波の回折、光周波数シフトが可能な AO 素子に、搬送波 f_a と信号波 f_m との間で振幅変調を行って入力し (図 2)、周波数 f_0 のレーザ光を AO 素子に入射すると、分離角度 θ_m で異なる方向に進行する周波数 f_0+f_m と f_0-f_m の 2 光束が発生する。この搬送波 f_a の周波数を、パーソナルコンピュータから DA 変換ボード (98DA16N-17: (株) インターフェース) を介して変調波発生回路で制御することで、精密な走査位置制御を可能とした。また、信号波 f_m の制御を信号発生器で制御することで 2 光束間のピーク強度間距離を制御する。

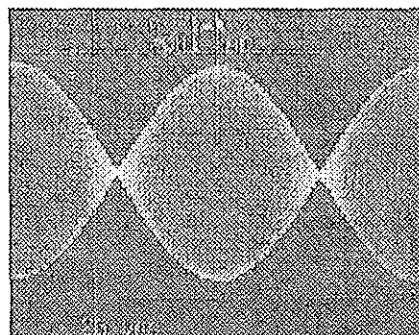


図 2 AO 素子駆動信号波形

このとき、2 光束間に Δh の段差があった場合、 λ をレーザの波長としたとき Δh と位相差 $\Delta \phi$ の間には

$$\Delta h = \lambda \Delta \phi / 4 \pi$$

の関係がある (図 3)。

He-Ne レーザの波長を 633nm とすると、位相の 1° は 0.88nm に相当することになる。

光の周波数は 10^{15} Hz オーダであるが、ビート信号を計測することによって光の周波数領域の位相の変化を計測することを可能とした²⁾。

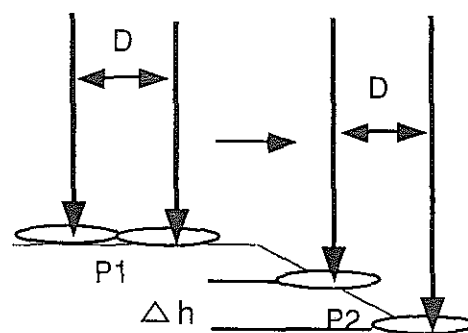
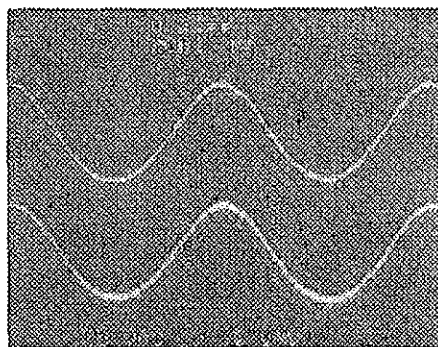


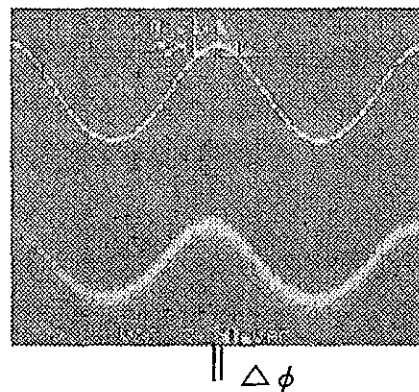
図 3 斜面を含む際の計測



(a) P1 における位相差

ch1: 参照光

ch2: 反射光



(b) P2 における位相差

図 4 P1-P2 間の位相差の変化

図 3 の P1 の位置においては高低差が存在しないため、反射光の 2 光束間で発生するビート光に位相のずれは発生せず、図 1 のように基準としている参照光の 2 光束間のビート光と反射光間の 2 光束間のビート光の間に位相差は発生しない (図 4 (a))、しかし P2 のように 2 点間に高低差 Δh が発生すると、反射光の 2 光束間に位相のずれが発生するため、反射光 2 光束間のビート光に位相の変化が発生し、参照光の 2 光束間のビート光と参照光と反射光との間に位相差 $\Delta \phi$ が発生する (図 4 (b))。

またAO素子は回折角度が小さいため、AO素子の他にガルバノミラーとスキャンレンズによる走査を組み合わせることでAO素子の走査範囲の拡大を行った。

スキャンレンズから試料に入射する前の2光束のビート光と、試料からの反射光となった2光束のビート光はハーフミラーによってそれぞれ別の受光素子に導かれ、ビート信号として電気信号化される。この2つの信号の位相差を位相差検出回路で検出し、AD変換ボード(98AD12N2SM4-9:(株)インターフェース)を介してパーソナルコンピュータへ転送され、各計測ポイントでの位相差データを元に各計測点での変位量を加算することで走査領域全体の形状を求める。

2-2. 計測試料

標準計測試料として、Si基板上にSiO₂を電子ビーム式真空蒸着装置で蒸着して、段差を作製した。

蒸着終了後、表面形状計測装置(Dektak3030:日本真空技術(株))により、Si基板上に約320nmの膜厚のSiO₂の薄膜があることを確認した。

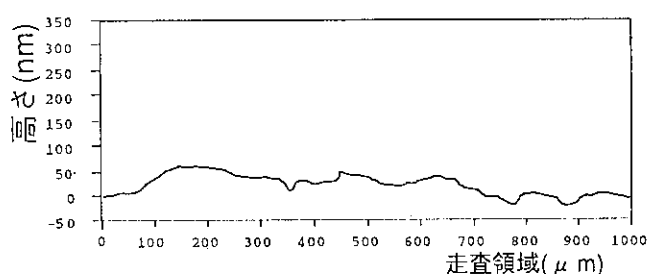
2-3. 計測方法

信号発生器の出力周波数を100KHzに設定し、試料上の2光束のピーク間距離が2 μ mとなるようにし、1mmのライン計測を行った。Si基板の表面からSiO₂の蒸着膜が存在する方向へ、計測することで形状計測を行った。その後、先に計測を行った表面形状計測器によるデータとの比較を行った。

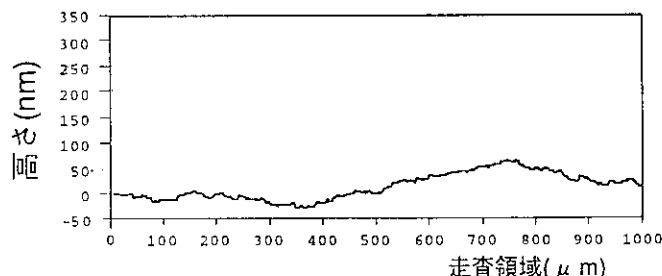
3. 実験結果

3-1. Si表面の形状計測

Si表面の部分を計測して検出された各計測点の変位データの積算から表面形状を求めた結果、表面形状計測装置の計測結果と同様にフラットな面であることが確認できた。同一の計測位置ではないが、計測結果は表面粗さの視点でほぼ一致する値であると判断した。また、誤差が発生すると考えた場合、今回の設定においては試料上の2光束のスポット径が約0.3mmほどであるため、周囲のデータと平均化されたことにより、フィルタ処理と同様の影響を計測結果に与えることが考えられる(図5)。



(a)表面形状計測器による計測結果



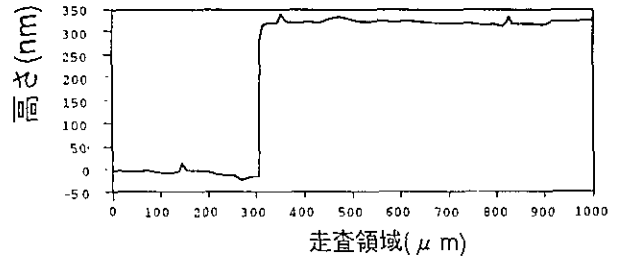
(b)光ヘテロダイン干渉法による計測の積算結果

図5 Si表面部の形状計測結果

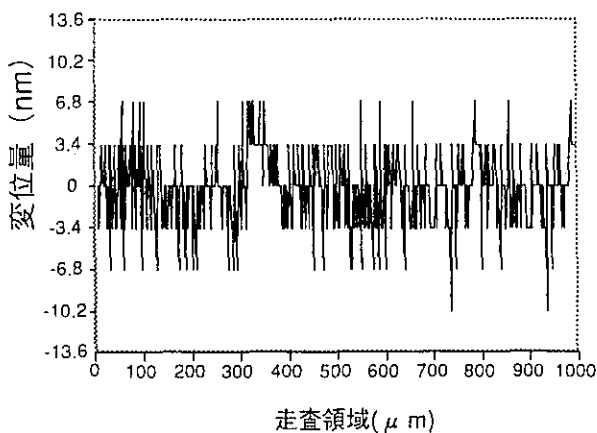
3 - 2. SiO 薄膜部分における計測結果

SiO 薄膜の膜厚測定結果を図 6 (a) に示す。繰り返し測定の結果、平均膜厚は 320nm であった。

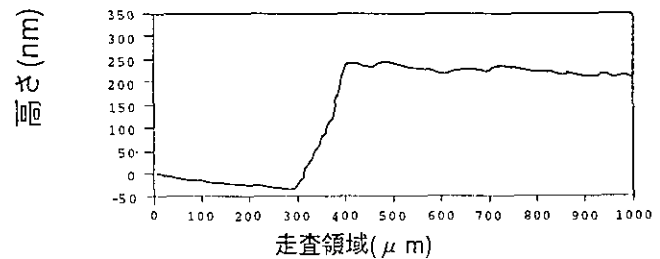
光ヘテロダイン干渉計測の測定結果を図 6 (b) に示す。高さの変位量はビート光の周波数とサンプリング周波数の関係によって、3.4nm を単位として計測される。変位量を積算し、膜厚とした結果を図 6 (c) にしめす。膜厚は 270nm と、50nm ほど低い結果となっており、段差の変化幅は約 $120 \mu\text{m}$ と長くなっている。この原因としては、2 光束の目的とした入射角のアライメントの誤差の発生や、試料の傾き、スポット径、さらに信号処理の影響が推測される。



(a)表面形状計測器による計測結果



(b)光ヘテロダイン干渉計測による計測結果



(c)光ヘテロダイン干渉計測による積算結果

図 6 Si-SiO 部の形状計測結果

4. まとめ

構築した走査型光ヘテロダイン干渉計測システムの評価実験を行ったところ、高精度の計測が可能であることが確認された。今後は分解能にかかわる走査領域の拡大や平面内走査を可能とすることを目指す予定である。さらに、光軸の位置決めや、スポット径の縮小、信号処理に関する性能を向上させ計測精度の向上を計ることとしている。

5. 参考文献

- 1) 小林 昭ら：超精密生産技術大系 第3巻 計測・制御技術、フジ・テクノシステム
- 2) 吉澤 徹・瀬田勝男：光ヘテロダイン技術、新技術コミュニケーションズ